

LA ENERGÍA

Introducción

1. Qué es la energía.

1.1 Concepto general

1.2 En que formas distintas se presenta la energía

1.2.1 General

1.2.2 Energía cinética de los cuerpos

1.2.3 Energía potencial de cuerpos inmersos en un campo gravitatorio

1.2.4 Energía que irradian los cuerpos

1.2.5 La electricidad

2. Las transformaciones de la energía. Parte I

2.1 General

2.2 Los combustibles

2.3 La energía hidroeléctrica

2.4 La fisión nuclear

3. Las transformaciones de la energía. Parte II

3.1 General

3.2 Energías renovables

3.3 Flujos de energía en la biósfera terrestre

4. Más sobre las distintas formas de energía y cómo ellas se relacionan entre sí

4.1 General

4.2 Los combustibles

4.3 La energía eléctrica

4.4 Hidrocarburos

4.5 Las estrellas, enormes fuentes de energía

4.6 Otras formas de energía provenientes del sol

4.7 Hay más formas de energía que nos llegan desde el cosmos

4.8 La energía atómica

4.9 Energía de la materia viva

5. Las transformaciones de la energía. Parte III

- 5.1 General
- 5.2 El agua
- 5.3 El rayo
- 5.4 Juegos energéticos en un automotor
- 5.5 Cómo con energías cinética, térmica y potencial se desploman dos maravillas
- 5.6 Centrales termoeléctricas
- 5.7 Qué es la energía térmica o calor
- 5.8 Conservación de la energía
- 5.9 Unidades de energía
- 5.10 Qué pasa cuando una forma de energía se transforma en otra
- 5.11 Las cuatro fuerzas del universo

Gravedad

Electromagnetismo

Fuerza débil

Fuerza fuerte

6. La importancia de la energía en la vida de los pueblos

- 6.1 General
- 6.2 La revolución científica-tecnológica-industrial
- 6.3 Qué es la ciencia
- 6.4 Qué es la tecnología
- 6.5 La importancia de la investigación científica y tecnológica para el avance de la sociedad humana
- 6.6 Utilización de las distintas formas de energía en un país

7. Uso mundial de la energía

- 7.1 General
- 7.2 Usos más comunes de las distintas formas de energía

Derivados del petróleo líquido. Gas natural. Gas licuado. Gas natural comprimido..
Hulla. Combustibles de aviación. Propulsión de barcos. Energía eléctrica.

- 7.3 Qué son químicamente los combustibles

- 7.4 Crisis energéticas
- 7.5 Imposibilidad de un aumento indefinido del consumo mundial de energía
- 7.6 Valores estadísticos de la energía en Argentina

8. Costos de la energía

- 8.1 La energía no es gratis
- 8.2 La producción mundial de petróleo
- 8.3 Petróleo y política
- 8.4 Características del petróleo y costos relacionados
- 8.5 Extracción del petróleo
- 8.6 Los medios de transporte del petróleo
- 8.7 Las destilerías
- 8.8 El gas del petróleo
- 8.9 La energía eléctrica

9. Contaminación producida en el medio ambiente por el uso de la energía

- 9.1 General
- 9.2 Cuanto más tecnología sin controles, más destrucción
- 9.3 Cuanto más energía se consume, mayores son los daños
- 9.4 Contaminación producida por cada fuente de energía
- 9.5 El transporte
- 9.6 Centrales nucleares de generación de energía eléctrica
- 9.7 Contaminación radioeléctrica
- 9.8 La seguridad en el transporte también es afectada por la contaminación del aire
- 9.9 Adiós a las estrellas
- 9.10 El ruido
- 9.11 El calentamiento global del planeta debido a la intensificación del efecto invernadero
- 9.12 la importancia del aumento de la temperatura en la atmósfera
- 9.13 La disminución de la capa de ozono en la atmósfera
- 9.14 El alto costo de la contaminación

10. Maneras de ahorrar energía para reducir la contaminación ambiental (y de paso gastar menos)

10.1 General

10.2 Qué se puede hacer para reducir al mínimo la contaminación

10.3 Qué puede uno hacer contra la contaminación día a día

11. Síntesis final

LA ENERGÍA

INTRODUCCIÓN

El universo es un gigantesco espacio en expansión donde ocurren de continuo y simultáneamente una casi infinidad de fenómenos energéticos de diverso tipo y magnitud. Toda la materia que percibimos directamente con nuestros sentidos o a través de instrumentos, aquí en nuestro planeta Tierra o fuera de él, por una parte contiene elementos que de una manera u otra intervienen en los fenómenos energéticos, y por otra es a través de esos fenómenos, con la luz como su principal mensajero, que podemos percibir la existencia de esa materia. El mundo que nos rodea es una compleja combinación de materia y energía que ha intrigado a muchos pensadores, sobre todo en los últimos siglos de la historia humana, siendo a lo largo del siglo XX cuando se han realizado los más grandes avances en pos de su conocimiento.

*Este trabajo está dirigido a personas interesadas en el tema **energía**, que no posean pero quieran alcanzar una visión general básica de él, la que podrán luego ampliar tanto como quieran y puedan accediendo a otras fuentes de información.*

Para los lectores que se pregunten cuál es el interés que hay en leer un trabajo como éste, sobre un tema aparentemente árido, falto de poesía y encanto, van las siguientes reflexiones. Nuestras vidas, desde la concepción en el vientre de nuestra madre hasta el último instante, están atadas a multitud de fenómenos energéticos de todo tipo. Vivir es un continuo acto de consumir y producir energía. Al mirar, escuchar, tocar algo, amar, respirar, comer, dormir, movernos, pensar, y cualquier otra actividad que desarrollemos, ocurren en nuestro cuerpo multitud de complejos fenómenos energéticos. Por ejemplo, al mirar el cielo en una noche despejada, vemos a los astros porque desde ellos nos llega su luz, que está constituida por ondas electromagnéticas que han viajado quizás miles de años a través del espacio a la tremenda velocidad de casi 300.000 kilómetros cada segundo(!). Luego esta insignificante energía se transmite por medio de fenómenos electroquímicos que ocurren en el nervio óptico, desde nuestros ojos hasta nuestro cerebro, donde aparece finalmente la imagen del objeto observado. Nuestros cuerpos y todo lo que nos rodea en nuestro planeta Tierra, están hechos de elementos combinados a veces en complicadas estructuras, como resultado de juegos de la energía en sus diversas formas. Sorprende enterarse que la materia de que uno está hecho, formó parte de una o más estrellas que nacieron en el cosmos hace miles de millones de años, en violentos procesos con colosales intercambios de energía. Con palabras poéticas pero también con rigor científico, podemos decirle románticamente a quien amamos que es un pedacito de estrellas modelado con energía. Todo es energía. Sin ella el universo no se hubiera creado.

Para una buena comprensión de los fenómenos energéticos al nivel expuesto en este trabajo, es conveniente que el lector tenga presente los conceptos básicos de Física y Química exigidos en la escuela secundaria de Argentina, o esté dispuesto a repasarlos toda vez que lo considere necesario. No se han incluido en general expresiones matemáticas -y las pocas que se verán son muy simples- a fin de que sea accesible a la mayor cantidad posible de lectores, aunque a menudo los conceptos vertidos requieran un mínimo de razonamiento matemático, que es de suponer poseen las personas con aquel nivel de enseñanza.

El trabajo consta de un texto y algunos gráficos de ayuda simplificados al máximo para una mejor comprensión. En el texto los gráficos son mencionados toda vez que sea necesario, dado que a veces un mismo tema es abordado en más de una ocasión agregando conceptos nuevos.

Por si acaso el lector desea ampliar los temas, se dan en los casos que se considera necesario las referencias para acceder a las respectivas fuentes de información complementaria, como se indica en el índice.

El trabajo no está desarrollado al estilo de un libro de texto, sino que los temas se van mostrando a medida que la oportunidad los sugiere, tal como ciertos principios didácticos modernos lo proponen. Puesto que no se trata entonces de un libro de texto, para entender un tema que interese al lector no es necesario en general haber leído y entendido todo lo anterior;

es suficiente con buscar dicho tema en el índice y luego entrar directamente en la sección en él indicada. Cuando se considera necesario, se aconseja ver otras secciones que en ella se citan, a fin de lograr un mejor entendimiento o simplemente ampliar el tema.

Algunos conceptos se reiteran, aunque cada vez con notables variaciones y ampliaciones, lo que se justifica porque la reiteración es un buen medio para fijar conceptos importantes pero no familiares, como son para la persona no especializada casi todos los fenómenos energéticos.

El entendimiento y la fijación de las ideas aquí expuestas se incrementa mucho si el lector observa en la realidad que lo rodea, siempre con actitud inquisitiva, los fenómenos que a lo largo del texto se van mencionando. Con el mismo fin puede incluso, y es conveniente hacerlo, realizar algunos simples y seguros experimentos que se mencionan en el texto y otros que se le ocurran, guardando siempre el cuidado necesario para evitar daños.

El Instituto Argentino de la Energía General Mosconi agradece al lector su dedicación a este trabajo, y gustosamente tendrá en cuenta los comentarios que pudiera sugerir con el fin de mejorarlo.

1. Qué es la energía.

La respuesta a esta pregunta no puede ser ni breve ni simple, dada la complejidad del tema, y se irá desarrollando progresivamente a lo largo del texto hasta llegar a una satisfactoria comprensión.

1.1 Concepto general. En una primera aproximación puede decirse que la energía es un ente físico que existe por doquier bajo muy distintas formas y constituye junto con la materia la base de todos los fenómenos que tienen lugar en el universo. El universo, también llamado cosmos, es *todo* lo que existe, en el planeta Tierra o fuera de él, sean cosas que percibamos con nuestros limitados sentidos, o que requieran de la ayuda de a veces complejos instrumentos de detección y medición. Hoy día la ciencia, aunque ha realizado avances maravillosos, no conoce todos los fenómenos que tienen lugar en el universo, ni entiende perfectamente todos los que conoce. Asimismo no hay una certeza total sobre el origen del universo, su evolución pasada y mucho menos sobre su evolución futura. La teoría del big bang (gran explosión, en castellano) es por lejos la más aceptada hoy al respecto, aunque con cantidad de aspectos no totalmente definidos, sobre los cuales se investiga intensamente.

La energía se presenta en muchas distintas formas o clases, muy diferentes entre sí, y tantas son que todavía hoy, aunque el conocimiento acumulado al respecto especialmente durante el siglo XX es maravilloso, algunas de ellas no han sido estudiadas y comprendidas en su totalidad. No es tampoco absolutamente seguro que no existan otras formas de energías distintas de las clasificadas hasta hoy, sobre todo porque ya se tienen indicios de que hay en el universo otras clases de materia distintas de las que conocemos.

Nuestra estrella el sol, por ejemplo, como casi todas las estrellas que vemos en el cielo, emite enormes cantidades de energía de distintas clases por continua conversión de su masa en energía. Una relativamente pequeñísima parte de esas energías las recibimos en nuestro planeta en forma de calor, luz y otras radiaciones. De los combustibles, es decir todo material que puede quemarse combinándose con oxígeno, desprendiendo calor y luz, decimos por lo tanto que poseen energía. Más aún, puede afirmarse que todo lo que vemos posee ciertas cantidades de energía de diversas clases, y es gracias a ellas que percibimos el mundo que nos rodea. No existen cuerpos que no posean en sí alguna clase o forma de energía. Asimismo, no hay en el cosmos un punto, aún en el vacío absoluto, que no posea o por donde no fluya alguna clase de energía. La energía es entonces omnipresente en el universo, y es creada a partir de la energía encerrada en la materia o de otras formas de energía que se desplazan por el espacio y cambian de continuo desde una forma a otra.

Cada vez que se produce un fenómeno en la naturaleza, puede afirmarse que en él intervino alguna forma de energía, en general varias formas. Por lo tanto se puede definir la energía en otros términos diciendo que es lo que está presente en todo cambio que se produce o puede producirse en el universo, sea en el ámbito de un átomo o en el interior de una

galaxia. Algunas formas de energía pueden existir y propagarse independientemente de la materia, pero toda la materia posee en sí alguna forma de energía.

A veces un fenómeno ocurre porque un objeto recibe alguna clase de energía, a veces porque un objeto emite energía, y a menudo porque un objeto recibe y cede energía al mismo tiempo o en secuencia, en muchos casos energías de varias clases. Algunos ejemplos de observación diaria son: las distintas radiaciones que nos llegan desde el sol; los flujos energéticos que se establecen en la atmósfera por obra de dichas radiaciones y que definen los complejos fenómenos climáticos en el planeta Tierra, tales como los vientos, la lluvia, el granizo, la nieve; las mareas en los mares; los variados intercambios de energía entre el medio ambiente y los cuerpos de todos los animales y aún dentro de ellos mismos. Estos y otros numerosos procesos se irán analizando y entendiendo a lo largo de la lectura de este trabajo.

Decimos en términos generales que un cuerpo sufrió un fenómeno cuando experimenta un cambio en alguna o varias de las magnitudes siguientes, que pueden ser propias o bien del ambiente que lo rodea: posición y velocidad cuando se mueve con respecto a otros cuerpos; forma; volumen; presión interna; peso; masa; composición química; composición del núcleo de sus átomos; color; temperatura; campos eléctrico, magnético o gravitatorio en los que el cuerpo está inmerso o él mismo genera; etc. Cada uno de esos cambios, según se dijo, es producido por una o varias clases de energía aplicadas al cuerpo o tomadas de él o emitidas por él.

Resumiendo, puede decirse que *todos los objetos materiales que vemos a nuestro alrededor -nosotros mismos incluidos-, y aún los que no vemos, contienen alguna clase de energía, y que esas energías fluyen entre los cuerpos y el espacio que los rodea de modo continuo, dando así lugar a distintos fenómenos. Es por ello que puede decirse que en el espacio entre los objetos, aún en el extremo vacío cósmico, también hay energía, sea en la forma de radiaciones o bien como partículas con masa que se desplazan velozmente.*

1.2 En qué formas distintas se presenta la energía.

1.2.1 General. La energía se presenta en muchas distintas formas que el hombre ha ido descubriendo y entendiendo a través del tiempo, gracias a la repetida e inteligente observación de los fenómenos físicos y su detenido estudio, éste apoyado siempre en el uso de la reina de todas las disciplinas del conocimiento de la naturaleza, las matemáticas. Ese método de entender la naturaleza observando los objetos y los fenómenos que en ellos o entre ellos ocurren, repitiendo cuando es posible dichos fenómenos en los laboratorios, y sobre todo razonando sobre ellos con herramientas de investigación adecuadas, es lo que se llama *ciencia*. La imaginación pura y sola, por pródiga que sea, no conduce al conocimiento de los fenómenos de la naturaleza, como lo demuestra la historia humana en todo su largo. Se puede filosofar sobre cualquier tema de la naturaleza, pero no es posible comprenderlo sólo a través de esa actividad. Invocar las ciencias matemáticas como una excepción a lo dicho porque no es ni observacional ni experimental es un error, porque esas ciencias no pretenden por sí desentrañar los misterios del cosmos. Y bien es cierto que los hombres han desarrollado las ciencias matemáticas casi exclusivamente a través del pensamiento y sin necesidad de observar el mundo físico, aunque a menudo también impulsados por el deseo y/o la necesidad de entender los fenómenos naturales que los intrigaban.

El calor es energía, la luz es energía, un rayo de tormenta es energía, las corrientes eléctricas son energía, los cuerpos que se mueven tienen energía, el conjunto de dos astros en movimiento, como la Tierra y la Luna tienen energía (y aunque no se movieran también tendrían energía, la llamada energía gravitatoria potencial, por atracción mutua), los combustibles tienen energía, y hasta en la materia viva puede percibirse cierto monto de distintas formas de energía, aunque muy débiles.

Analicemos a continuación en cierto detalle algunos fenómenos simples para entender mejor el concepto de energía. Son hechos o fenómenos que podemos observar diariamente, aunque quizás todavía no estemos conscientes de que en cada uno de ellos está presente alguna cantidad de energía, en una o más de las diversas formas que ella puede tomar.

1.2.2 Energía cinética de los cuerpos. Cuando nos movemos caminando, poseemos ya por ese solo hecho cierta *energía mecánica de movimiento*, con relación al suelo, que lo consideramos fijo. La energía de los cuerpos en movimiento se llama *energía cinética (del griego kinéma = movimiento)*. Un automóvil, un avión, un tren, un barco, un átomo, una

molécula, etc., todos en movimiento, tienen cada uno una cierta cantidad de energía cinética siempre con relación a un objeto o conjunto de objetos que consideramos fijos- por estar constituidos por cierta cantidad de materia en movimiento con respecto a dichos objetos. Y esa energía puede medirse y expresarse en ciertas unidades. Para un cuerpo que se mueve a una determinada velocidad, cuanto más grande sea la cantidad de materia que lo forma, más energía posee. Por eso un tren tiene mucho más energía que una persona, aunque ambos se muevan a la misma velocidad, porque el primero es mucho más grande que el segundo. Pero para dos cuerpos con la misma cantidad de materia, tiene más energía el que va más rápido, energía que aumenta mucho con la velocidad.

Se reitera porque es muy importante: la energía mecánica de movimiento o energía cinética de un cuerpo -siempre con relación a otros cuerpos que se toman como sistema de referencia- depende de la cantidad de materia que lo constituye y de su velocidad con respecto al mencionado sistema de referencia. Esta energía se incrementa rápidamente con la velocidad, mucho más que si ella se mantuviera constante y se fuera en cambio aumentando la cantidad de materia o masa que lo forma. (A la masa se la llama vulgarmente peso, aun cuando no son conceptos equivalentes, como se explica más abajo). Por eso, por ejemplo, decimos que el proyectil de un arma de fuego tiene mucha energía cinética, y no por su peso, que es pequeño, sino por su gran velocidad. Cuando un vehículo embiste a otro cuerpo, sea éste otro vehículo, una o varias personas, una pared, un árbol, etc., se comprueba que la gravedad del accidente, expresada en los daños materiales que sufren los objetos involucrados y sobre todo las heridas, fracturas o cantidad de muertes de las personas afectadas, aumenta rápidamente con la velocidad. El planeta Tierra sobre el que vivimos tiene mucha energía mecánica cuando se la compara con las energías de los objetos que se desplazan sobre su superficie, porque es muy pesado y porque continuamente gira sobre su eje y además se mueve alrededor del sol a mucha velocidad (¡unos 30 Km por cada segundo, es decir más de 100 mil Km/hora!). Tal como se estudia en Física, la energía cinética de un cuerpo es entonces proporcional a su masa, pero en cambio es proporcional *al cuadrado* de su velocidad. Es importante recordar entonces que cuanto más rápido uno se mueve en un vehículo, el riesgo de perecer en un accidente crece mucho con la velocidad a que se viaja. De la misma manera, hay una tremenda diferencia entre atropellar con un vehículo a un peatón a 5 Km/hora, que hacerlo a 50 Km/hora.

La energía mecánica se manifiesta a veces no solo en cuerpos que se desplazan a cierta velocidad, sino también realizando un trabajo, por ejemplo elevar un cuerpo, modificar la forma de un objeto, etc., aunque la acción tenga lugar a muy baja velocidad.

De aquí deriva la definición más simple de trabajo mecánico: es la integración del producto de la fuerza que realiza el trabajo, por el espacio recorrido a lo largo de la trayectoria que ella sigue en su desplazamiento.

El hombre utiliza esta forma de energía para construir, transportar cosas, etc. En la antigüedad la energía aportada por los hombres, a veces constituyendo multitudes, era casi la única forma de energía disponible, tanto fuera en la paz cuanto en la guerra. Ejemplos: desplazamiento de personas a pie, transporte de objetos a sangre o sea por animales, navegación a remo, arado de campos con el tiro de hombres o animales, construcción de grandes monumentos destinados a templos o tumbas, como las pirámides, combate cuerpo a cuerpo, lanzamiento de flechas y lanzas, disparo de rocas con catapultas, derribo de portones con arietes, etc. Las ciudades en general pero especialmente las grandes metrópolis modernas, son portentosas acumulaciones de trabajo mecánico, empleado más que nada en la erección de sus edificios de altura, en la construcción de sus calles y veredas y de sus extensas y complejas redes de distribución de agua y de descargas cloacales y pluviales, de gas, de electricidad, de comunicaciones, sistemas electromecánicos, etc., que las hacen habitables.

1.2.3 Energía potencial de cuerpos inmersos en un campo gravitatorio. Como ya lo descubriera Newton hace más de tres siglos, las masas de materia se atraen entre sí, lo que explica por ejemplo porqué todos los cuerpos en la Tierra tienden a caer hacia su centro. Por la misma causa se explica la existencia del sistema solar, el hecho de que varios planetas posean satélites, la posibilidad de poner en órbita alrededor de la Tierra a satélites artificiales, la existencia de estrellas múltiples, galaxias, etc. Las leyes mecánicas que rigen los movimientos todos los cuerpos en el espacio cósmico, en especial las tres leyes de Kepler para el sistema solar, pueden derivarse de esa ley de la gravitación universal. Las fuerzas gravitatorias son

siempre de atracción, y se ejercen cualesquiera sean las masas de los cuerpos considerados. Hay que advertir que la teoría de la relatividad de Einstein, formulada a principios del siglo XX, elimina la idea de fuerzas de atracción gravitatoria y la sustituye por el concepto de que las masas curvan el espacio que las rodea, interpretación rigurosa de validez universal que permite explicar todos los fenómenos gravitatorios, tal como el movimiento de los cuerpos celestes, la desviación de la luz en un campo gravitatorio, etc. Esto no significa que la ley, como instrumento de cálculo de las fuerzas, deje de ser válida; hay sólo unos pocos fenómenos para cuya interpretación no sea suficiente con dicha ley.

Cuando un peso desciende desde un nivel gravitatorio a otro inferior, es decir cuando baja en el espacio que rodea a una masa, por ejemplo la del planeta Tierra, es capaz de ejecutar un trabajo. El concepto de trabajo se define de manera elemental con referencia a una fuerza que se desplaza, como la del peso mencionado en la frase anterior, diciendo que es el producto de la componente de la fuerza en el sentido del desplazamiento por el espacio recorrido sobre él. El lector puede repasar este tema en cualquier libro de física elemental. Entre otras muchas aplicaciones, la generación de energía eléctrica por medio del agua en las llamadas centrales hidroeléctricas, se explica por la entrega de la energía potencial de las masas de agua acumuladas en un embalse, a las turbinas hidráulicas que mueven los generadores a medida que esas masas descienden en un torrente continuo. Esta energía, la que posee cualquier masa en un campo gravitatorio y que puede entregarse para la realización de un trabajo, es lo que se llama energía potencial del cuerpo. Cuando un cuerpo situado en un campo gravitatorio es elevado desde cierto nivel a otro más elevado, hay que aplicarle para ello una fuerza en sentido contrario a su peso, en cuyo caso la energía potencial del cuerpo (o sea su capacidad de realizar un trabajo) aumenta.

Puede ampliarse el tema de la generación de energía eléctrica por medio del agua, recurriendo al Capítulo 2. Las transformaciones de la energía. Parte I, sección 2.3 *La energía hidroeléctrica*.

De los conceptos anteriores surge otra definición: energía es todo agente natural o artificial (es decir, construido por el hombre) que tiene la capacidad de realizar un trabajo, por sí o por conversión previa a otra forma. Se ampliará esto más adelante.

Nota.- Desde ahora en más la palabra *peso* de un cuerpo será reemplazada en general por la palabra *masa*. El peso de un cuerpo es la fuerza con la que es atraído por nuestro planeta, y se mide con una balanza y se expresa en kilogramos. Su valor no es igual en todos lados, depende de la altura sobre el nivel del mar y la latitud geográfica a que se halla el cuerpo y la balanza que lo pesa. La masa de un cuerpo, en cambio expresa la cantidad de materia que integra al mismo, y la gran diferencia con el peso es que su valor permanece muy aproximadamente constante en el rango de las velocidades a las que se mueven en el universo los grandes bloques de materia. Masa y peso por lo tanto *no significan lo mismo*, pero cuando se comparan varios cuerpos situados en un lugar donde la intensidad del campo gravitatorio es la misma, al dividir el peso de cada uno por su masa, se obtiene siempre el mismo valor, lo que se llama la aceleración de la gravedad en ese lugar. Cuando hablamos de masas nos referimos a aquéllas de cuerpos en reposo, ya que ellas aumentan con la velocidad y sus valores tienen a ser infinitos cuando se llega a la velocidad de la luz, de acuerdo con la teoría de la relatividad.

Para ampliar el tema de la fuerza gravitacional ver Capítulo 5. Las transformaciones de la energía. Parte III, sección 5.11 *Las cuatro fuerzas*.

1.2.4 Energía que irradian los cuerpos. Hasta ahora los ejemplos dados de elementos portadores de energía eran *objetos materiales*, fácilmente observables porque se ven, tienen masa, forma y volumen. La energía de ellos es de naturaleza mecánica, y la llamamos energía cinética cuando los consideramos en movimiento, y energía potencial cuando se hallan en un campo gravitatorio. Pero la *luz*, esa radiación que despiden los cuerpos muy calientes como el sol, las lámparas en general, etc., que aunque no podamos verla a ella en el vacío sí nos permite ver las cosas con nuestros ojos porque sus superficies la reflejan cuando son iluminadas por ella, aunque no la podamos tocar o asir con nuestras manos, *también es energía*. Es energía de una clase muy distinta a las energías mecánicas de los cuerpos, por muchos motivos. *El calor*, que no vemos en circunstancia alguna pero que sentimos cuando nos arrimamos a una estufa o cuando estamos al sol, también es energía radiante, y de

naturaleza idéntica a la luz. Ambos son fenómenos al mismo *tiempo eléctricos y magnéticos*, por curioso que parezca. Se trata de campos eléctricos y magnéticos superpuestos, que cambian de sentido una enorme cantidad de veces por segundo creando ondas que se propagan por el espacio vacío a la tremenda velocidad de unos 300 mil Km cada segundo! La energía que porta *una onda* de una radiación electromagnética depende de su frecuencia, es decir la cantidad de veces que sus campos alternan (se invierten) sucesivamente en un segundo. *Cuanto mayor es esa frecuencia, mayor es la energía de cada onda, es decir que hay una proporcionalidad directa entre la frecuencia y la energía de cada onda.* La radiación electromagnética que emite la materia resulta de fenómenos que sufren los electrones que componen los átomos de la materia que constituye los cuerpos, fenómenos que tienen una estrecha relación con la temperatura de esos cuerpos. El tema de la energía radiante es tratado también en

-Capítulo 4. Más sobre las distintas formas de energía y cómo ellas se relacionan entre sí, secciones *4.5 Las estrellas, enormes fuentes de energía, 4.6 Otras formas de energía provenientes desde el sol y 4.7 Hay más formas de energía que nos llegan desde el cosmos.*

-Capítulo 5. Las transformaciones de la energía. Parte III, sección *5.11 Las cuatro fuerzas.* - Capítulo 9. Contaminación producida sobre el medio ambiente por el uso de la energía, sección *9.7 Contaminación radioeléctrica*, que se refiere a la radiación electromagnética de relativamente bajas frecuencias.

1.2.5 La electricidad, ese elemento maravilloso que no se ve pero que hace funcionar casi todos los aparatos de nuestra casa y de las ciudades, y casi todos los demás, es asimismo energía. En la forma conceptualmente más pura se presenta como electricidad estática, es decir sin desplazamiento, como la que se observa por ejemplo en la pantalla de un televisor o de un monitor de una computadora y en general cuando se frotran dos cuerpos no conductores, como un peine contra el pelo, una escuadra contra un papel, en las nubes de tormenta, etc., que casi siempre se disipan en descargas con producción de luz y sonido. La energía eléctrica que utilizamos con fines tecnológicos en la Tierra, es decir para hacer funcionar aparatos tales como generadores de potencia, motores, televisores, heladeras, etc., está formada por el movimiento, dentro de conductores eléctricos, de enormes cantidades de unas partículas de ínfimos peso y tamaño, dotadas de una carga eléctrica negativa, que se llaman *electrones*. Este fenómeno es lo que llamamos *corriente eléctrica*. Las corrientes eléctricas circulan a lo largo de alambres o barras de diversos metales debidamente aislados (usualmente cobre o aluminio muy puros), que por dicha razón son llamados conductores. Los rayos que se observan en días de tormenta, son también fenómenos eléctricos, en este caso de gran potencia, pero de brevísima duración. Los electrones forman la parte externa de los átomos de todos los elementos que constituyen la materia de la que está hecho el universo, se disponen en diversos niveles energéticos dentro de aquéllos y en ciertas condiciones de temperatura participan y definen los fenómenos químicos que ocurren entre los átomos. Están por lo tanto en nuestros cuerpos, en la tierra que pisamos, en el agua, en el aire, en los astros que vemos en el cielo, etc. Cuando los electrones saltan por algún motivo de un nivel a otro dentro de los átomos, emiten o absorben energía.

Como conclusión puede decirse que *la energía es el agente íntimamente vinculado con la materia, que está presente en todos los fenómenos que se observan en la naturaleza, siendo la causa o la consecuencia de ellos, o bien ambos a la vez. Hay muchas formas de energía, casi siempre mezcladas y en permanente conversión de unas en otras. En general, todas ellas terminan transformándose en calor.*

En los núcleos de las estrellas la materia se transforma en energía, siendo éste proceso la mayor fuente de ella en el cosmos.

2. Las transformaciones de la energía. Parte I.

2.1 General. *Es curioso que alrededor nuestro las distintas clases de energías se transforman unas en otras. ¿Magia? No, esto es así desde el origen del universo, en donde al mismo tiempo ocurren infinidad de procesos de conversión de una forma de energía en otra.*

Por ejemplo, cuando la electricidad pasa por el alambre que forma la resistencia eléctrica de una estufa, produce calor y luz. Es curioso que algo que no podemos ver, como la electricidad, se transforme en una cosa que podemos sentir en nuestra piel (el calor) y otra que podemos ver con nuestros ojos (la luz). En el caso de una estufa a combustible -por ejemplo gas o kerosene que arden dentro del artefacto-, el resultado es el mismo, calor y luz, aunque aquí la fuente sea la energía química del combustible. Estamos acostumbrados a experimentar esas formas de energía, pero tendría que llamarnos la atención el hecho de que tanto el calor como la luz nos lleguen desde la distancia, a través del espacio.

En una escala mucho mayor, una estrella también despiden una enorme cantidad de energía en la forma de calor, luz y otras radiaciones que surgen desde su núcleo, que es un enorme horno donde ocurren fenómenos que no tienen ninguna relación con el arder de los combustibles. Se trata de fenómenos que no involucran a los electrones que rodean los núcleos de los átomos, como pasa en la combustión, sino que ocurren en los mismos núcleos. La causa primera de ese inmenso irradiar de energía es la condensación hacia el centro de gravedad, debida a fuerzas gravitatorias y a lo largo de millones de años, de enormes masas de materia en la forma de gases, mayormente hidrógeno, a veces mezclados con polvo de otras estrellas, materia que originalmente formaba una gran nebulosa. Cuando la temperatura del centro o núcleo de la nube, por causa de la conversión de la energía potencial de la materia que constituía la nube en energía cinética, y luego ésta en calor debido a los choques entre partículas, alcanzó valores de millones de grados, los núcleos de los átomos de hidrógeno comenzaron a fusionarse entre sí en una compleja secuencia de fenómenos con enorme desprendimiento de energía de radiación, y así nació la estrella. Ese proceso se llama *fusión nuclear*. Es consecuencia de la existencia de la fuerza gravitatoria -porque gracias a ella se inicia- la que parece constituir la mayor fuente de energía en el universo. De aquí que en escala cósmica la fuerza gravitatoria sea tan importante.

En el caso de un *vehículo* que se está moviendo, y de pronto choca contra algo y así se detiene, su energía cinética se ha transformado en el trabajo de deformar su carrocería y el objeto contra el cual se estrelló, fenómeno que además produce un calentamiento de ella y un fuerte ruido; he aquí que el sonido también es energía, aunque sea una parte ínfima de las energías puestas en juego en el choque.

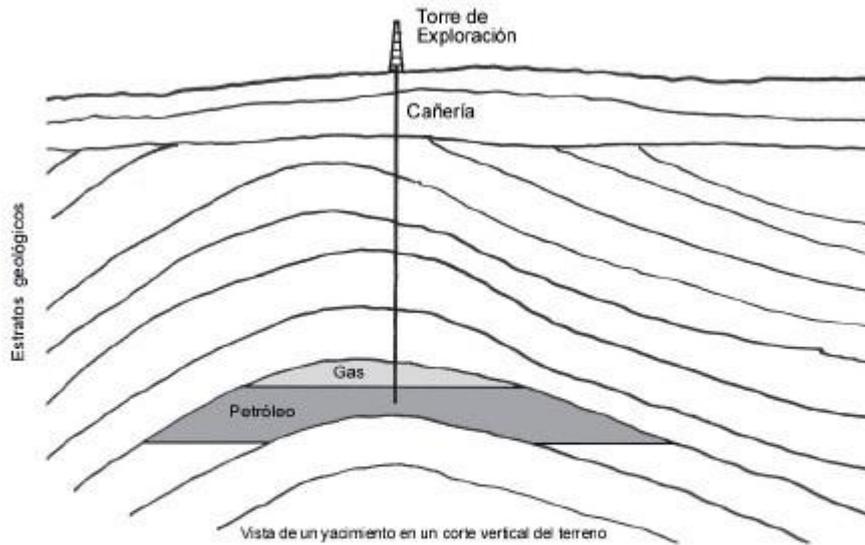
Por ser tan importante, se volverá a discutir a lo largo de este texto esta esencial propiedad de la energía, la de pasar continuamente de una forma a otra, iniciando al lector en los principios que rigen estos procesos.

Para ampliar este tema ver Capítulo 1. Qué es la energía.

2.2 Los combustibles, como la nafta, el gasoil, el kerosene, el gas que tomamos de las redes de distribución, el carbón vegetal y el carbón mineral, y otros combustibles, todos ellos también poseen energía, y mucha por unidad de peso, la que se manifiesta cuando se queman en una atmósfera que posee el gas oxígeno, como es el aire. Debido a que la combustión es un fenómeno químico (o sea que ocurre por desplazamientos de electrones entre los átomos), se dice que los combustibles poseen energía química. La casi totalidad de la energía de los combustibles, cuando arden en ambientes abiertos, se manifiesta en la forma de calor. Todos ellos -excepto el carbón, sea el llamado mineral (hulla) o el vegetal- se obtienen a partir del procesamiento del petróleo.

El petróleo se extrae de debajo la superficie terrestre en forma de un líquido negro (de aquí el nombre de oro negro con el que también se lo llama) y viscoso. Junto con él suele surgir el gas del petróleo, otro importante combustible, en gran parte también un hidrocarburo, que es el que quemamos en las hornallas de las cocinas, en los calefones, en las calderas de los consorcios y en los motores de los automóviles que lo usan comprimido en cilindros a gran presión, y también en las calderas de las grandes plantas generadoras de electricidad. La palabra petróleo proviene del idioma latino: (petre = piedra) + (oleum = aceite), porque es una suerte de aceite que se extrae del subsuelo debajo de estratos rocosos. Dado que es *un elemento de gran valor estratégico, pues el mundo moderno se basa en su utilización*, las actividades que giran en torno al petróleo movilizan los mayores capitales del mundo. Y la historia de los últimos cien años muestra que muchas guerras fueron libradas para conquistar yacimientos de esta vital fuente de energía.

Petróleo y gas, yacimientos de



Nota: Hay reservorios petrolíferos en tierra y también bajo el mar. La exploración en el último caso se hace desde un barco y, si se descubren reservas importantes, la explotación (extracción del petróleo y del gas) se realiza desde una gran plataforma flotante, desde la cual se envían a tierra para su procesamiento y utilización.

Figura 1

Es tanta la energía que se concentra en los combustibles derivados del petróleo, que una vez que el hombre aprendió a usarlos masivamente -lo que ocurrió principalmente a comienzos del siglo XX-, se transformaron en un decisivo factor de avance económico de las sociedades humanas de occidente, y hoy día de todo el mundo. Producen al quemarse gases de mucho más volumen que el del combustible antes de quemarse, a grandes temperaturas, que por consiguiente contienen mucha energía, y por eso es que se usan para mover desde pequeñas máquinas (por ejemplo los motores de los ciclomotores), hasta máquinas de grandes dimensiones (tales como las turbinas de gas o de vapor que impulsan los enormes generadores de las centrales termoeléctricas, los barcos, los aviones).

Gracias a la gran energía que liberan los combustibles al entrar en combustión (arder o quemarse), es que se pueden realizar gran parte de las actividades humanas del mundo contemporáneo. Cuando arden en el interior de los motores de los automotores, generan así la potencia que los mueve. Por eso puede decirse que al cargar combustible en los tanques de automóviles, aviones, barcos, trenes, etc., se está comprando energía muy concentrada para que esos vehículos puedan desplazarse. De manera similar, con la energía eléctrica y el gas que nos llegan desde las respectivas redes de distribución, al abonar las facturas que las compañías de electricidad y de gas nos mandan, estamos pagando la energía eléctrica y la energía térmica, respectivamente, que hemos consumido para nuestras necesidades y confort. El fenómeno químico por el cual los combustibles producen calor a elevadas temperaturas, es en principio un fenómeno eléctrico en el ámbito atómico, dado que las combinaciones de elementos que ocurren durante la combustión se realizan mediante el desplazamiento de electrones entre átomos.

En síntesis, la energía térmica que generan todos los combustibles mencionados -sean ellos los derivados del petróleo o bien los carbones- cuando arden con el oxígeno del aire, tiene múltiples aplicaciones: para procesos industriales, para impulsar vehículos por medio de motores de combustión interna, para producir vapor, o directamente gases, que impulsan

turbinas que acopladas a generadores producen energía eléctrica, para *calentar* edificios, cocinar, etc. Si no existieran los combustibles, muy distinta serían nuestras vidas.

La energía eléctrica puede también generarse -además de con el uso de combustibles- con centrales hidroeléctricas, es decir mediante el uso de la energía potencial gravitatoria del agua, y con centrales nucleares, o sea usando la energía atómica. Los tres métodos, el térmico por quema de combustibles, el hidráulico y el nuclear, en mayor o menor grado, son contaminantes. Para contar con esta valiosa clase de energía, la electricidad, la base de nuestra actual civilización, existen asimismo otras formas de energías primarias con las que también puede generarse, sin quemar combustibles (y por lo tanto sin tanta contaminación), como por ejemplo el sol y el viento. Por diversas razones su desarrollo no ha prosperado tanto como es necesario.

Hay que aclarar que la participación de las energías hidráulica y nuclear, dentro del consumo total actual destinado a la generación de energía eléctrica es, en el orden mundial, en cada categoría, menor que la de los combustibles. Una descripción elemental de las dos primeras se da en la sección siguiente.

Una ampliación de estos conceptos puede verse en el Capítulo 4. Más sobre las distintas formas de energía y cómo ellas se relacionan entre sí, secciones 4.2 Los combustibles y 4.4 Hidrocarburos.

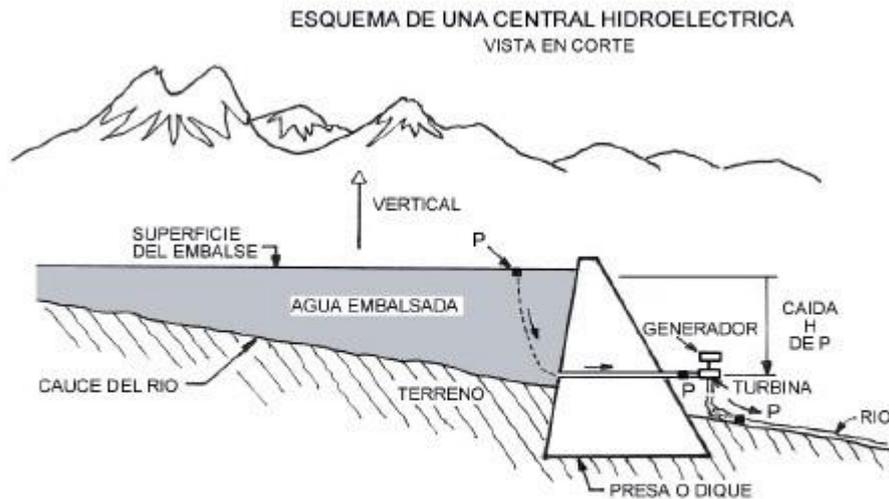
2.3 La energía hidroeléctrica se produce por la caída de copiosos volúmenes de agua de los ríos en las centrales generadoras de electricidad. Por ejemplo en Argentina existen las centrales de El Chocón, Alicurá y Piedra del Águila sobre el río Limay, Planicie Banderita sobre el Neuquén, Salto Grande sobre el Uruguay, Yacyretá sobre el Paraná y Futaleufú sobre el Chubut. La suma de sus potencias equivale a la casi totalidad de la energía generada con agua en Argentina. En Brasil, una sola de sus centrales, Itaipú, sobre el río Alto Paraná, próxima a la Provincia de Misiones, genera tanta potencia eléctrica como la suma de todas las argentinas.

¿Cómo puede ser que se produzca electricidad con el agua? Es un interesante caso de conversiones de diferentes clases de energías. En las centrales hidroeléctricas (del griego: hydra = agua) grandes masas de agua bajan o caen desde la superficie del embalse o lago que forma el dique que se construyó sobre el cauce del río, transformando así su energía potencial gravitatoria en energía cinética. El agua pasa luego a cierta velocidad y presión a través de cada turbina hidráulica produciendo en ella un torque o cupla que hace rotar o girar al generador con el que está acoplada, produciendo así energía eléctrica. La potencia eléctrica que cada conjunto turbina-generador produce, es proporcional a la altura de caída del agua (desde la superficie del lago hasta la turbina) y a su caudal (volumen de agua que pasa cada segundo por la turbina).

Los grupos de generación hidroeléctrica tienen buenos rendimientos de conjunto, significando esto que gran parte de la energía del agua se transforma en energía eléctrica. Podría parecer que el rendimiento no importa, dado que el agua, a diferencia de los combustibles que se queman en las centrales térmicas, abunda en la naturaleza y no hay que procesarla antes de aprovecharla, y por lo tanto no cuesta nada. Pero no es así: el costo de construir una central hidroeléctrica es, con relación a una central termoeléctrica, mucho mayor debido al costo de las inmensas obras civiles de la presa y los trabajos complementarios, el sistema de transporte de la energía eléctrica hasta los centros de consumo requiere la construcción de complejos y costosos sistemas de transmisión en altas tensiones, etc. No obstante lo anterior, se construyen de continuo grandes centrales hidráulicas en todo el mundo porque, entre otros importantes motivos, el costo de generar en ellas energía eléctrica, es a la larga en general menor que en centrales térmicas. En cuanto a la contaminación que las centrales hidroeléctricas introducen en el medio ambiente -especialmente en los cursos de agua donde se construyen- aunque no es nula, ella es considerablemente menor que la aportada por la quema de combustibles en las termoeléctricas.

La energía hidroeléctrica se considera en cierto modo una energía renovable, o sea que no se agotará en el futuro como es el caso del petróleo, el gas y el carbón mineral, ya que el agua que fluye por los ríos supuestamente lo hará por muchos años, si no se alteran las condiciones climáticas y/o geológicas de las cuencas donde se recogen dichas aguas. No obstante esto, de tanto en tanto algunas cuencas suelen recibir temporalmente escasas

cantidades de agua por falta de lluvias, causando una baja producción de energía hidroeléctrica. Esta situación, en aquellos sistemas eléctricos nacionales dependientes en gran medida de la generación hidroeléctrica, puede conducir a una grave crisis de suministro electroenergético. Es lo que ocurrió en Argentina durante los veranos de los años 1.987/1.988 y 1.988/1.989, y en Brasil -con un sistema eléctrico con alta proporción de generación hidráulica- en los años 2.001 y 2.002.



Cómo la energía potencial del agua en el campo gravitatorio de la Tierra se transforma en energía eléctrica

Explicación:
Un peso de P kilogramos de agua cae la altura de H metros hasta la turbina, a la que le entrega la energía $P \times H$. Esa energía es transferida al generador eléctrico que la transforma en energía eléctrica E equivalente.
Debido a las pérdidas en la realidad E es menor que $P \times H$.

Figura 2 - Central hidroeléctrica.

2.4 La fisión nuclear es otra importante fuente de energía eléctrica en el mundo, sobre todo en los países muy avanzados tecnológicamente. Fue descubierta a fines de la primera mitad del siglo XX, como consecuencia de profundos estudios teóricos basados en la compleja teoría de la mecánica cuántica, que explica la naturaleza íntima de la materia y la energía.

El fenómeno consiste en que los núcleos de ciertos tipos de átomos (un isótopo del uranio, por ejemplo) son propensos a desintegrarse (fisionarse) en una reacción en cadena, cuya velocidad está controlada en las centrales nucleares, para evitar una detonación como la que ocurre en las bombas atómicas. Los agentes causantes de este fenómeno son los neutrones, partículas eléctricamente neutras, que integran los núcleos de los átomos de toda la materia (excepto el hidrógeno) junto a los protones, partículas con carga positiva. Los neutrones salidos de los núcleos atómicos, provocan por colisión con otros núcleos de átomos vecinos el desprendimiento de otros neutrones, y así continua el proceso. De esta manera, las fuerzas nucleares liberadas producen calor (y otras radiaciones, éstas muy penetrantes y nocivas), el cual se utiliza para producir vapor de agua a altas temperatura y presión -es decir, con alto contenido de energía- el que a su vez mueve turbinas acopladas a generadores eléctricos.

La fisión nuclear es un fenómeno absolutamente distinto al de la combustión, porque en la fisión es la materia misma la que se transforma -en ínfimas cantidades- directamente en energía, tal como lo establece la teoría de la relatividad con su famosa ecuación $E = mc^2$, donde E es la energía que puede producirse con una masa m de materia, y c la velocidad de la luz. En su uso bélico, el ritmo de la fisión no se controla para que todo el material se desintegre instantáneamente a fin de que el daño sea máximo. Es lo aplicado en las bombas

atómicas que destruyeron las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki en 1.945, dando término a la segunda guerra mundial de manera tan trágica como innecesaria. La comprensión de los complejos fenómenos que tienen lugar en los átomos que reaccionan de la manera aquí elementalmente descrita, requiere el dominio de la teoría mencionada al principio, la mecánica cuántica, tema totalmente fuera del objetivo de este trabajo. Se pueden asimilar sus conceptos básicos a través de la lectura de cantidad de libros de iniciación en el tema, o bien tomando contacto con algún organismo dedicado a esta clase de energía, como es la CONEA, que se describe a continuación.

Argentina cuenta desde mediados del siglo XX, poco después de terminada la segunda guerra mundial, con un importante ente científico-técnico de alto nivel mundial, que estudia y aplica los fenómenos nucleares con fines pacíficos. Es la Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA), a cuyo cargo estuvo en el pasado la construcción y explotación de las centrales nucleares de generación eléctrica de Atucha (Provincia de Buenos Aires) y Embalse (Río Tercero, Provincia de Córdoba). La CONEA desarrolla hoy en cambio muchas otras actividades que van desde la construcción de centrales nucleares experimentales hasta la producción en serie de instrumentos y materiales de utilidad médica e industrial.

Para ampliar la información sobre todos estos temas ver las siguientes secciones en el Capítulo 4. Más sobre distintas formas de energía y cómo ellas se relacionan entre sí: 4.2 Los combustibles, 4.4 Hidrocarburos y 4.8 La energía atómica.

Sobre la contaminación aportada por la energía nuclear, ver en el Capítulo 9. Contaminación producida sobre el medio ambiente por el uso de la energía, la sección 9.6 Centrales nucleares de generación eléctrica.

3. Las transformaciones de la energía. Parte II.

3.1 General. Aun cuando estemos acostumbrados a verlo, no deja de ser curioso que la energía eléctrica pueda convertirse en movimientos mecánicos. Las bombas para sacar agua de debajo de la tierra o de un río o lago para nuestro uso, los ventiladores para refrescarnos cuando hace calor, las heladeras, los lavarropas, las computadoras, los sistemas que alimentados a batería arrancan los motores de combustión interna de los autos y camiones, las turbinas de los aviones a reacción y muchos otros muchos aparatos más que usamos, transforman energía eléctrica en movimientos mecánicos para cumplir esas diversas funciones. Lo hacen a través de un aparato llamado motor eléctrico. En las computadoras, como la que escribió este trabajo, un ventilador eléctrico mantiene frío el equipo y un pequeño motor eléctrico mueve el disco rígido para que la p.c. pueda guardar o suministrar información. Es interesante notar que en las bombas para elevar agua y que están movidas por un motor eléctrico, el fenómeno es inverso al que se produce en las turbinas de las centrales hidroeléctricas, pues en éstas es la caída del agua la que genera electricidad. Es importante decir que tanto los generadores de energía eléctrica cuanto los motores eléctricos, basan su funcionamiento en la acción llamada electrodinámica, el fenómeno de fuerzas que tiene lugar entre corrientes eléctricas y los campos magnéticos, fenómeno que se explica en este trabajo.

Para ampliar este tema, va a continuación un listado (incompleto) de transformaciones de una clase de energía en otra:

-La *energía eléctrica* en los siguientes usos: producción de calor o frío en procesos industriales, frigoríficos, etc / para el hogar (enseres domésticos, iluminación, calefacción, refrigeración, etc.) / luz para ver, a través de procesos varios (lámparas incandescentes, fluorescentes, de gases) / corrientes que transportan señales de todo tipo a distancia por cables conductores (telefonía) / acumular energía química en la cargar la batería de un vehículo, y luego esa energía química transformada otra vez en energía eléctrica para usos varios (arranque, faros, bocina, música, etc.) / procesos electroquímicos para la obtención de metales de alta pureza (aluminio, cobre, plata, etc.) / imágenes (cinematografía, televisión, monitores de computadoras) / sonido (cinematografía, tv, radio receptores, radio transmisores y equipos de audio) / ondas electromagnéticas de frecuencias relativamente bajas que transportan señales de comunicaciones (radiotelefonía, televisión), detectan objetos distantes (radar) / computación / transporte / control y protección de toda clase de equipos electromecánicos por dispositivos electrónicos / etc.

-Las *distintas formas radiaciones electromagnética que nos llegan desde el sol*, en especial *luz y el calor*: originaron y mantienen todas las formas de vida vegetal (a través de la fotosíntesis) y animal que pueblan el planeta / calientan las viviendas (por absorción de la radiación infrarroja) / permiten producir energía eléctrica para cargar baterías, mover motores eléctricos, etc. (panel fotovoltaico) / originan todos los fenómenos meteorológicos terrestres / etc.

-La *energía del viento* (de origen solar) transformada en energía eléctrica (generadores eólicos), calor, bombeo de agua (molinos), etc.

-La *energía gravitatoria* que nos llega desde la Luna y el Sol produce las mareas (fenómeno mecánico), que a su vez en algunos lugares se utilizan para generar energía eléctrica; se transforma en electricidad en las centrales hidroeléctricas.

Es importante hacer notar que hoy, y cada día en mayor proporción, *la corriente eléctrica* no sólo opera muchos equipos, sino que también es la que controla su funcionamiento, los protege, da indicaciones para su mejor operación, etc. a través de circuitos electrónicos -que como su nombre lo indica son accionados por energía eléctrica- a veces muy complicados. La unidad típica que cumple con esas funciones es una computadora, de diseño normal o especial para cumplir con la función asignada. Esta tendencia, producto del avance científico aplicado por la tecnología a la producción industrial en décadas recientes, combinada con el crecimiento descontrolado de la población mundial y otros factores, tiene un fuerte impacto social, al traducirse en una creciente tasa de desempleo. Es evidente que la humanidad deberá estudiar seriamente y resolver sin demoras esta situación, lo que no es tarea fácil, dado que a la necesidad de lograrlo se oponen los intereses que medran sobre ella.

3.2 Energías renovables. *Existen varias formas de energía, llamadas energías renovables porque no se agotan, a diferencia de lo que pasará con los combustibles naturales (petróleo, gas y hulla) y hasta con los elementos combustibles que generan energía nuclear (uranio), dado que los yacimientos que proveen ambas formas de energía son de volúmenes limitados. Las distintas energías renovables hoy en uso en diversa magnitud son la energía hidráulica, la eólica, la de las mareas, la solar y, en cierto modo, la de origen vegetal. Por mucho, la más utilizada técnicamente es la hidráulica (derivada de la energía potencial del agua en el campo gravitatorio terrestre) para la generación de energía eléctrica, frecuentemente con el riego como finalidad secundaria y a veces principal. La energía mareomotriz, que se origina también en la energía gravitatoria, en este caso terrestre-lunarsolar, es asimismo utilizada en muy pequeña escala para la generación eléctrica. La energía vegetal (que en cierto modo es energía solar acumulada por los vegetales a través de la fotosíntesis), mayormente representada por la energía térmica que brinda la celulosa de los árboles y arbustos cuando arden, son combustibles propios de los conjuntos humanos sin otros recursos, y su aplicación descontrolada está produciendo la desaparición de enormes áreas cubiertas por bosques. De modo que la calificación de renovable a esta forma de energía está condicionada a un control que nunca se ejerció ni se ejerce.*

Con excepción de la energía hidráulica, usada desde hace milenios en diversas aplicaciones, a las energías renovables también se las denomina *energías no convencionales*, porque son en general de reciente origen en cuanto a su uso intensivo. A raíz de la contaminación que producen de una manera u otra todas las formas de energía convencionales usadas casi con exclusividad hoy (y del futuro agotamiento, dentro de ellas, de las que se generan con recursos que se toman del subsuelo), urge promover el desarrollo de otras fuentes. A este fin, se investiga intensivamente desde hace ya tiempo la posibilidad de utilizar de manera creciente formas de energía que no contaminen y que sean renovables renovables, como las ya mencionadas, a fin de aprovecharlas más y mejor día a día. Pero su aporte a la totalidad de las energías generadas por las otras fuentes es todavía pequeño, y su crecimiento es lento debido a dificultades técnicas y los consiguientes elevados costos que estas nuevas fuentes aún tienen.

Ampliando lo dicho en la sección anterior, ahora con relación a posibles fuentes de energía no convencionales, es decir renovables, van los siguientes comentarios.

La energía mecánica del viento o energía eólica puede transformarse en electricidad o directamente en calor mediante el uso de grandes molinos. La electricidad puede usarse para descomponer el agua común en los dos elementos que la integran, hidrógeno y oxígeno, con las aplicaciones energéticas del combustible hidrógeno que se explican más abajo / La luz solar puede generar electricidad cuando incide sobre paneles hechos de materiales especiales, los paneles fotovoltaicos. Dado que la radiación solar al ser interceptada puede generar importantes cantidades de calor, sería de gran alivio para la humanidad y la naturaleza en general, si el calor solar llegara por lo menos a utilizarse masivamente en la calefacción de casas y edificios, reduciendo de esa manera el quemado contaminante de combustibles. Mucho tiene que hacer en este campo la Arquitectura trabajando con especialistas en el tema, a fin de alcanzar diseños que permitan el máximo aprovechamiento de la energía del sol tanto para calefacción como para iluminación, por lo menos. Sería de interés público que los resultados de esas investigaciones –en Argentina ya se están haciendo- fueran ya mismo aplicados en el proyecto y construcción de toda clase de edificios, especialmente los construidos con fondos estatales, para dar el ejemplo. Con esto se lograrían importantes ahorros de energía / Las mareas, es decir, las subidas y bajadas de las aguas de los mares por la acción gravitatoria de la luna y el sol, también son capaces de generar energía eléctrica, existiendo ya plantas que aprovechan la energía mareomotriz a ese efecto / Las olas de los mares asimismo pueden producir energía eléctrica / La energía calórica que fluye desde el interior de la Tierra también puede ser utilizada para generar vapor que produce luego electricidad; ya existen unas pocas centrales en el mundo que aprovechan esta fuente energética (Italia, Chile y otros países).

Una fuente de energía casi perfecta por lo poco contaminante es el elemento hidrógeno, el más abundante en el universo, aquí en la Tierra fácil de obtener porque forma

parte de toda el agua que puede hallarse en el planeta. Este gas, que puede arder en la atmósfera al combinarse con el oxígeno que ella contiene, genera mucho calor por unidad de masa, y podría constituir un combustible muy ventajoso para mover motores, turbinas, etc. Sirve tanto para tracción vehicular como para la generación de energía eléctrica. ¿Cómo se obtiene el hidrógeno? Mediante el paso de una corriente eléctrica continua a través de una cuba con agua, proceso llamado electrólisis. En la electrólisis del agua se obtienen separados los dos elementos que la integran, uno en cada electrodo o polo de la cuba electrolítica, justamente en la proporción óptima para arder (dos volúmenes de H₂ y uno de O₂). La combustión en esas proporciones ocurre en forma explosiva. Existen otros procedimientos para obtener hidrógeno. La energía casi limpia del elemento hidrógeno importa mucho en el problema ambiental, ya que usado como combustible sólo deja como residuo vapor de agua. La electricidad necesaria para la electrólisis puede ser provista por generadores eólicos o por paneles fotovoltaicos, ambos utilizando energía de origen solar. Como tanto el viento como la radiación solar no están presentes de manera continua -el viento amaina en cualquier momento y el sol falta durante la noche- es necesario almacenar el hidrógeno en tanques a gran presión para utilizarlo cuando sea necesario. Los compresores serían impulsados con parte de la energía eléctrica provista por aquellos generadores.

Una forma muy conveniente para producir energía eléctrica a partir del hidrógeno, es por medio de un dispositivo llamado *celda de combustible*, de peso relativamente reducido, entonces ideal para impulsar pequeños vehículos como los automotores. En estas celdas se recombinan el hidrógeno con el oxígeno para producir electricidad, a través de un fenómeno llamado de intercambio protónico. La electricidad sirve para accionar motores eléctricos que mueven el vehículo en donde la celda se halla montada. El proceso no es contaminante, los motores eléctricos son silenciosos y de fácil control y mantenimiento. Desde hace varias décadas se fabrican por distintas empresas internacionales modelos experimentales de esta clase de vehículos, pero su alto costo, por ahora, impide su venta y uso masivo. Cuando este problema sea salvado, se instalarán seguramente estaciones de carga de hidrógeno comprimido en las ciudades, tal como hoy se hace con el gas del petróleo.

Si se mira el futuro energético con optimismo, y hay razones para hacerlo si se confía en el poder de la ciencia y la tecnología, puede decirse que a medida que las formas tradicionales de generar energía –que son todas en mayor o menor grado contaminantes de la biósfera- se vayan agotando y de esa manera sus precios se vayan elevando, llegará un momento en que las energías no contaminantes, hoy costosas, podrán competir económicamente con las contaminantes y tomar así de a poco el suministro energético. El avance en ese sentido se dará, como en cualquier otro avance, cuando exista mundialmente la voluntad de lograrlo.

3.3 Flujos de energía en la biósfera terrestre. La Tierra es uno de los nueve planetas que, junto con el sol y una cantidad de relativamente pequeños cuerpos (satélites naturales de los planetas, asteroides y cometas), constituyen el sistema solar. El conjunto de los miles de cuerpos que forman ese sistema, posee una enorme energía cinética computada sobre la base de las velocidades con respecto a algún sistema de coordenadas de referencia, así como también posee una gran energía potencial gravitatoria computada sobre la atracción entre sus componentes, pero sobre todo con respecto al sol. Asimismo suma una formidable potencia (= energía emitida en cada segundo) el conjunto de las distintas energías que nuestra estrella genera e irradia a su entorno, casi todas de naturaleza electromagnética. Estas energías provienen del horno nuclear que existe en su centro, en donde se fusionan núcleos de elementos livianos, fundamentalmente hidrógeno, para dar otros de mayor complejidad. Si alguna vez uno se preguntó porqué las estrellas -a enormes distancias de la Tierra- son visibles por nosotros a simple vista, la explicación está en que la energía luminosa que irradian a su alrededor es inmensa. De ella nuestros ojos captan una cantidad relativamente infinitesimal debido a la enorme distancia que nos separa de esos astros, pero la suficiente como para que nuestro sistema de la visión los detecte.

Prácticamente la totalidad de la energía de diverso tipo que fluye sobre la superficie terrestre, más del 99 %, proviene del sol. El sol es una estrella con tamaño mediano (algo más

de un millón de veces el volumen de la Tierra) que nació a partir de la lenta condensación gravitatoria de una gigantesca nube (nebulosa) de gases y polvo cósmico, hace unos 5 mil millones de años. Es una estrella de entre más de cien mil millones de otras que integran Nuestra galaxia, que es una enorme estructura formada por un núcleo y varios brazos dispuestos en una espiral. Es fácil contemplarla en noches con cielo sin nubes y sin luces ni luna que reduzcan la oscuridad, como una franja blancuzca de débil luminosidad, que atraviesa el firmamento, ya que la vemos de canto al estar nosotros inmersos en ella. Para tener una idea de sus dimensiones basta con decir que la luz, viajando a 300.00 Km/segundo (7,5 vueltas alrededor de la Tierra en un segundo!), tarda unos 90 mil años en ir de un extremo al otro. Hay enormes cantidades de galaxias -muchos millones- de varios tipos y tamaños en el universo conocido, es decir hasta donde llegan los más poderosos telescopios. Cuatro de ellas pueden contemplarse a simple vista en condiciones favorables. En ese vasto e inimaginable espacio que estudian los astrofísicos con sus instrumentos, y más allá, se estima que está toda la materia y la energía que existe en el cosmos.

Como casi todas las estrellas visibles, el sol irradia energía en variadas formas. Las más importantes que nos llegan a la Tierra y que podemos percibir con nuestros sentidos son la luz (captada por el sentido de la vista) y el calor (a través de la piel). Ambas radiaciones son de naturaleza electromagnética. Parte de la luz se refleja en la superficie terrestre y retorna hacia el espacio exterior; la que no, en su mayoría se transforma a su vez en calor.

(Cuando se mide la variación de la potencia de la radiación solar en función de su frecuencia, se verifica que la mayor parte de ella viene en la forma de calor. Por otra parte, el valor máximo de la radiación coincide aproximadamente con la banda de frecuencias de la luz para la cual la sensibilidad de nuestros ojos es máxima. Esto no es casual: nuestra vista, a lo largo de la evolución se desarrolló de tal manera como para tener la mayor sensibilidad en ese rango de frecuencias).

Por otra parte, las reacciones nucleares y otros fenómenos geológicos que ocurren debajo de la superficie del planeta, hacen fluir hacia su superficie muy pequeñas cantidades de calor, lo que se comprueba observando que la temperatura crece marcadamente desde la superficie hacia el centro de la Tierra. La energía térmica interna del planeta es la causa de la actividad volcánica que se observa en su superficie, sea en los continentes como en el fondo de los mares, así como el desplazamiento tectónico de las placas geológicas, causa de los terremotos.

Es esencial entender que los fenómenos que se producen en la superficie del planeta (evaporación y precipitación del agua, nubes, vientos, corrientes marinas, etc.), excepto los de origen interno, se producen como consecuencia de las diversas formas de energía recibidas desde el sol. Para la humanidad, lo más importante es que todas las maravillosas formas de vida que pueblan la superficie terrestre se originaron y se mantienen gracias a esa energía, pero pueden deteriorarse seriamente e incluso hasta desaparecer, como consecuencia de alteraciones que puedan ocurrir en ella.

¿Cuál es el destino de toda esa energía venida del sol sumada a la que se genera en el interior del planeta? ¿Retiene la Tierra toda o parte de esa energía, y qué influencia tiene esto sobre su temperatura? En otras palabras ¿cómo son los flujos de la energía calórica en el planeta Tierra? Para poder contestar a esa interesante pregunta, ayudaría primero analizar el siguiente experimento virtual. Se trata de idear un modelo de la Tierra, en las condiciones más parecidas a la realidad. Para ello imaginemos una esfera de por ejemplo un metro de diámetro, constituida por piedra, que gira lentamente, digamos en una hora, sobre un eje, como si fuera el planeta Tierra. La esfera está colocada en el centro de un recinto de enorme tamaño de forma esférica que está aislado térmicamente de la atmósfera exterior, es decir a temperatura constante, recinto que representa de alguna manera una parte del cosmos que nos rodea. La esfera está dotada de muchos termómetros distribuidos sobre su superficie, conectados a una computadora que permite hallar el valor promedio de las temperaturas medidas por todos ellos. A unos metros de distancia, más o menos en el plano ecuatorial de la esfera, se coloca una potente estufa que irradia hacia la esfera calor y luz de potencia constante, que representa al sol. Podría también colocarse en el centro de la esfera un pequeño calefactor eléctrico, de potencia muy reducida comparada con la que le llega desde la estufa, tanto como para representar el calor interno de la Tierra y de otras fuentes.

Iniciado el experimento y después de esperar varias horas, se verificaría que la temperatura *promedio* de la superficie de la esfera ha subido desde la temperatura original del ambiente (que se supone que es baja, para asemejar la temperatura del espacio exterior) hasta un valor superior en varios grados a la temperatura original, valor que se mantiene constante mientras la esfera gira lentamente sobre su eje.

¿Qué significa lo anterior desde el punto de vista de los flujos de calor? Hay tres flujos de calor: 1) el calor radiante absorbido por la esfera proveniente de la estufa exterior, 2) el pequeño monto de calor que proviene de la fuente interior hacia la superficie y 3) el calor que fluye de la superficie de la esfera radiado *hacia* su entorno. Si se llama S al primero, g al segundo y R al tercero, se verificará que $S + g = R$. Puesta esa expresión en palabras, significa que el calor que la esfera recibe de la estufa, más el que se genera en ella, es igual al calor que la esfera irradia hacia fuera. Esto debe ser así para que la temperatura promedio de la superficie de la esfera sea constante, como el experimento muestra. Porque si en cambio la energía radiada por la esfera al espacio exterior (R) fuera menor que la suma de la recibida desde la estufa (el sol) S más la que se genera en ella misma g (calor geológico y otros), entonces la temperatura promedio sería mayor que la medida antes, dado que la cantidad de calor que encierra la esfera aumenta por acumulación. Para entenderlo mejor imaginemos un tanque con una entrada de agua por la parte superior y una canilla abierta en su parte inferior, de tal manera que el agua que por allí sale es igual a la que entra por la parte superior del tanque cuando el nivel alcanzó cierta altura. Cerrando la canilla parcialmente de modo que salga menos agua que la que entra, el nivel del agua subirá dentro del tanque.

Una forma de lograr el aumento de temperatura señalado en el párrafo anterior sería poniendo sobre la esfera algún material especial, que actuara como una "frazada" que dejara pasar todo el calor de la estufa, pero que retuviera algo del calor radiante R. En estas consideraciones es esencial recordar que la cantidad de energía radiada por un cuerpo es una función de su temperatura superficial, creciendo muy rápido cuando la temperatura crece.

En la Tierra real ocurre algo similar a lo que se observó en el modelo experimentado virtualmente. La cantidad de calor que ella recibe desde el sol (S), más la cantidad de calor geológico y de otros orígenes que aparece en la superficie del planeta (g), deben igualar a la cantidad total de calor (R) que se irradia hacia el cosmos. Es por esto preocupante que desde hace un siglo aproximadamente y de manera acelerada ese equilibrio se va alterando, ya que se observa un ligero pero progresivo aumento de la temperatura promedio *de la atmósfera*. Y no es porque S o g hayan aumentado, sino porque en la atmósfera terrestre se están formando gases que retardan la emisión hacia el espacio exterior del calor $R = S + g$, como si la frazada del modelo fuera "abrigando" a la esfera de manera creciente. Se comprueba que esos gases, producto principalmente de la quema de combustibles que poseen el elemento carbono en su constitución, que son casi todos los que se usan hoy, son los culpables de este fenómeno. En la sección 9. *Contaminación producida sobre el medio ambiente por el uso de la energía*, se explica en cierto detalle este fenómeno y sus graves consecuencias sobre la biósfera. La *biósfera* es el volumen que va desde la superficie sólida del planeta, incluyendo el fondo de los mares, hasta unos pocos kilómetros por arriba de la superficie del mar, y en ese espacio es donde se desarrolla la vida y tienen lugar muchos de los complejíssimos fenómenos meteorológicos que la plasman. Esos fenómenos son los determinantes del clima a lo largo de los años y del tiempo en cada momento. Recuérdese que el *clima* es el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una amplia zona geográfica a lo largo de extensos períodos, mientras que el *tiempo* son esas mismas condiciones en el momento o en un corto período de tiempo. (Por eso no tiene sentido decir, como se oye a menudo, que "el clima hoy es horrible").

Es necesario aclarar en este punto que el estudio en detalle de los flujos de energía en la superficie del planeta Tierra es complicado, dada la cantidad de fenómenos que se producen en ella. Tan solo para dar una idea del tema, se da a continuación la información básica sobre los flujos de energía más importantes que pueden observarse.

- Si se consideran 100 unidades de la energía solar que en la forma de luz y calor intercepta la esfera terrestre, los estudios científicos han establecido que aproximadamente

- a) 30 de esas unidades, en la forma de luz, se reflejan directamente desde la Tierra hacia el espacio y se pierden en él, a raíz del diverso poder reflectivo del suelo,

las aguas y las nubes. (En otras proporciones y con distintos tipos de reflexiones ocurre esto mismo en todos los planetas y sus satélites, como la luna, y es gracias a esa luz reflejada que los podemos contemplar).

- b) 47 unidades se manifiestan en la troposfera como calor, el que a su vez y luego de participar en una cantidad de fenómenos es radiado al espacio. Este calor está formado en parte por la luz transformada en energía térmica. (La troposfera es la porción de la atmósfera que va desde la superficie sólida y líquida del planeta hasta unos quince Km de altura, y es en ella donde ocurren casi todos los fenómenos atmosféricos de naturaleza térmica y luminosa. En su tope se inicia la capa de ozono, el gas que nos protege de las radiaciones ultravioleta nocivas provenientes del sol).
- c) Casi todo el resto, 23 unidades, en la forma de calor es absorbido por las aguas de los mares, la superficie húmeda de las tierras y los lagos, produciendo la transformación de parte de esa agua en vapor, el que se incorpora a la atmósfera y es el factor más importante que sustenta la vida, ya que vuelve a la tierra nuevamente como agua en su gran mayoría a través de la lluvia.
- d) Una ínfima cantidad se invierte en producir los movimientos convectivos del aire de la atmósfera y las aguas de los mares, los vientos y las olas que ellos levantan, las corrientes marinas, etc.
- e) Una aún más insignificante cantidad de la energía que llega desde el sol, se convierte en vida vegetal a través del curioso fenómeno de la fotosíntesis, la que sustenta gran parte de la vida animal de manera directa (los hervíboros) o indirecta (los carnívoros, que se comen a los anteriores). La descomposición de toda la materia viva, vegetal y animal sumadas, reintegra casi toda esta energía a la atmósfera.

La suma de las energías d) y e) representa bastante menos que 1 unidad de toda la energía que llega desde el sol.

Para concluir con las formas de energía que juegan en la superficie terrestre, habría que hablar de la energía que fluye desde lo más profundo del planeta, la llamada energía terrestre, originada en diversos fenómenos que ocurren en su interior. La suma de la energía térmica que fluye a través de las rocas y la que aportan los volcanes por convección de la lava ígnea, es aproximadamente del mismo orden que la que toma la fotosíntesis desde el sol, es decir, muy pequeña, pero sin embargo importante para la vida.

Por razones de simplicidad no se ha mencionado aquí el hecho de que la potencia de la radiación solar interceptada en la alta atmósfera por la Tierra, varía en algún monto de manera periódica a lo largo del año, como consecuencia de que la órbita de la Tierra alrededor de la estrella no es circular, sino elíptica, con el sol en uno de los dos focos de esa curva. Esta característica hace que la distancia entre el sol y nuestro planeta varíe entre un mínimo que se produce en el perihelio (punto en que la Tierra se halla más próxima al sol), hasta un máximo en el afelio (punto opuesto al perihelio, es decir, cuando la distancia al sol es máxima). Dado que la energía radiante disminuye de intensidad en razón inversa al cuadrado de la distancia a la fuente, su intensidad en la Tierra varía desde un máximo en el perihelio hasta un mínimo en el afelio.

La ciencia que estudia la termodinámica de la atmósfera, es decir la *Meteorología*, trabaja con una cantidad tan enorme de variables que uno de sus objetivos principales, el de pronosticar el tiempo, se torna muy difícil aún aplicando complejos modelos matemáticos. Por eso los pronósticos meteorológicos son de naturaleza probabilística, es decir que no siempre se cumplen. Así es que el pronóstico para cierto día tiene una alta probabilidad de cumplirse, probabilidad que disminuye progresivamente para los días siguientes. Una interesante verificación de esto es comparar día a día el pronóstico con la realidad meteorológica. En Argentina el estudio de los fenómenos meteorológicos se halla principalmente a cargo del Servicio Meteorológico Nacional de la Fuerza Aérea, el que también elabora los pronósticos del tiempo en base a las observaciones realizadas por sí y las que obtiene de otras fuentes, en parte los satélites artificiales. Esos pronósticos son de gran utilidad para todas las actividades, en especial las navegaciones aérea y marítima. En mucho mayor escala económica, aunque no tan crítica como las anteriores, son también de utilidad en la producción agropecuaria y la industria de las construcciones. Es lamentable que el hombre común sea tan indiferente ante los fenómenos meteorológicos, e ignore la naturaleza de hasta los más elementales, cuando

vive inmerso en un vasto océano de aire de cuyas características penden en muchas situaciones su vida y sus bienes.

4. Más sobre las distintas formas de energía y cómo ellas se relacionan entre sí.

4.1 General.

Después de leer los capítulos 1 a 3 que anteceden, podemos ahora decir que sabemos algo más acerca de la energía, ese en apariencia fantasmal ente que domina en todo el universo. Energía que a veces podemos percibir con nuestros sentidos, a veces no.

No hay lugares del universo conocido donde no exista alguna forma de energía. Puede ser que un punto no exista ni una partícula material, pero seguramente habrá allí un campo gravitatorio y otro electromagnético, que encierran energía. *La energía adopta muchas formas distintas: movimiento de cuerpos (energía cinética), cuerpos en campos gravitatorios (energía potencial), radiación en la forma de luz, calor, y otras (energía electromagnética), corriente eléctrica, energía química, energía nuclear, etc.*

En este capítulo se hablará de las fuentes de energía que el hombre ha creado con su ingenio a fin de satisfacer sus deseos y necesidades, siempre a partir de los recursos que la naturaleza le brinda. Así, se verán con más detalles los combustibles y la electricidad y las diversas formas de obtenerla, tal como a través de la fisión del átomo. También se incursionará en la energía de las estrellas, en especial el sol, fuente de todas las energías que conocemos en la Tierra. La última sección se dedica a dar una idea elemental de la bioenergía.

4.2 Los combustibles tienen energía, que llamamos *energía química o interna*, la que se manifiesta sobre todo en la forma térmica, un poco en la forma de luz, cuando arden en una atmósfera que contiene oxígeno, como es el caso del aire. Los de uso más común son la *nafta* y el *gasoil*, el primero usado intensivamente en los motores que impulsan vehículos terrestres, aéreos y acuáticos, el segundo casi exclusivamente para la propulsión de vehículos terrestre, en general con motores potentes, sobre todo porque es más barato que la nafta. En cantidades mucho menores se consume también el *kerosene*, usado como combustible designado JP1 para las poderosas turbinas que empujan a los aviones a chorro o a reacción; un tipo menos elaborado es usado para la calefacción por estufas y para cocinar donde no hay gas. En las centrales termoeléctricas, es decir donde se fabrica energía eléctrica a través de la quema de combustibles, el *fuel oil* es un combustible muy utilizado. *Esos combustibles son derivados del petróleo y se obtienen por medio de su procesamiento en complejas plantas industriales llamadas destilerías.* En cambio el *gas* que sale de los pozos de petróleo (llamado *gas del petróleo*) es sólo purificado en simples instalaciones, se transporta a veces a largas distancias hasta los centros de consumo, llega así a nuestras viviendas por cañerías a baja presión, y al arder nos suministra calefacción y nos permite calentar agua o cocinar. Además, el gas del petróleo tiene importantes aplicaciones en la petroquímica, la generación de electricidad y la industria en general. La petroquímica es una relevante industria química que obtiene una multitud de valiosos productos –por ejemplo la numerosa familia de los plásticos– por medio del procesamiento de productos vinculados al petróleo, especialmente el gas.

Todos los productos derivados del petróleo, incluido su gas, son llamados hidrocarburos por causa de que en su composición química incluyen los elementos hidrógeno y carbono, formando moléculas en general muy complejas.

Mención especial merece el llamado *gas licuado del petróleo (GLP)*, que es gas natural licuado por sometimiento a gran presión y enfriamiento, y que se vende envasado en cilindros llamados garrafas. Al momento de escribirse este trabajo (julio del 2.003), en Argentina el GLP tiene un precio por poder calorífico equivalente que es más del doble del gas que se vende desde la red de distribución en estado gaseoso. Esto es inadmisibles porque el GLP es el combustible que se ve obligado a consumir el sector de más bajo poder adquisitivo del país, al que no le llegan las redes de distribución, sector que suma muchos millones de habitantes.

También son combustibles el *carbón* (hulla o carbón de piedra) que se saca de bajo tierra en las llamadas minas carboníferas, o el que se fabrica a partir de la madera, y la madera misma si está seca, ya que cuando ellos entran en combustión combinándose el elemento carbono, que todos contienen, con el elemento oxígeno, que forma parte del aire, tal como ocurre con todos los combustibles que contienen ese elemento, proporcionan energía térmica.

El gas hidrógeno (H_2) también puede arder en presencia del gas oxígeno (O_2), generando una gran cantidad de energía térmica y dando lugar a la formación de agua, pues ella está formada por ambos elementos (H_2O). Como se ve, la combustión del hidrógeno no deja residuos contaminantes, sólo vapor de agua, constituyéndose así en una fuente ideal de energía térmica. Pero de momento no se considera un combustible de uso práctico, aunque si su producción y uso seguro llegaran a ser competitivos con los combustibles hidrocarburos actuales, el hidrógeno tendría una enorme demanda. La aplicación más atractiva es la de propulsar vehículos por medio de celdas de hidrógeno, en donde éste arde generando allí mismo electricidad para accionar los motores eléctricos de aquéllos. Sería el combustible ideal para uso urbano, donde la contaminación es un grave problema. En el mundo, Argentina incluida, hay una cantidad de centros de investigación y desarrollo que persiguen los objetivos de generar ese combustible de manera económica y sin contaminar (por medio de generadores eólicos, o sea movidos por viento) y su uso como combustible en general, especialmente en las mencionadas celdas.

La mayor parte de la energía que producen los combustibles al arder se llama energía térmica, porque es simple calor. Una mucho menor porción de esa energía se manifiesta en la forma de luz. La energía de los combustibles cuando arden -como la que aparece en cualquier otra reacción química- tiene su origen en los saltos de niveles energéticos que sufren los electrones de los átomos de cada elemento durante la reacción.

Los *explosivos*, para cualquier uso que sean, contienen una cantidad muy concentrada de energía química en un pequeño volumen, pero la gran diferencia con los combustibles es que queman instantáneamente, aún en grandes masas, generando cantidad de gases a muy altas temperaturas, que se expanden en una fracción de segundo a grandes volúmenes, creando así a su alrededor una onda expansiva que es como un violentísimo viento que sopla a enormes velocidades. Por eso son tan destructivos, de modo que deben ser manipulados con extremo cuidado. Pero químicamente no son comparables a los combustibles, porque los explosivos no necesitan oxígeno del aire para arder, ya que tienen en sus fórmulas todos los elementos necesarios para su detonación instantánea. Hay explosivos de uso industrial, gracias a los cuales fue posible la construcción de gigantescas obras, tales como canales de navegación o riego, centrales hidroeléctricas, caminos, especialmente los de montaña, etc., pero lamentablemente, el hombre también ha creado y utiliza poderosos explosivos con fines bélicos, es decir no para construir sino para destruir.

Ver Capítulo 2. Las transformaciones de la energía, Sección 2.2 Los combustibles y Capítulo 5. Las transformaciones de la energía. Parte III, sección 5.6 Centrales termoeléctricas.

4.3 La energía eléctrica que usamos para hacer funcionar tantos enseres domésticos y otros muchos mecanismos fuera de nuestras casas, en buena parte proviene de quemar combustibles en las *centrales termoeléctricas*, en donde su energía química se transforma en calor cuando arden en una atmósfera que contiene oxígeno, es decir, se combinan con este gas. Distintos procedimientos (que se explican a lo largo de este trabajo) convierten luego ese calor en electricidad, la que a su vez es transformada en muchas otras formas de energía para nuestro uso. Por esto los combustibles, sobre todos los derivados del petróleo -los *hidrocarburos*-, son tan importantes en nuestras vidas. La energía eléctrica se genera también en las *centrales hidroeléctricas*, donde la energía gravitatoria del agua impulsa grupos turbogeneradores, y en las *centrales nucleares*, donde el calor de la fisión del uranio genera vapor que mueve grupos turbogeneradores. Hay otras formas de producir electricidad, que no contaminan el medio ambiente como lo hacen las anteriores, pero su uso queda hoy reducido a la generación de pequeñas potencias, debido a los altos costos involucrados. Pero no hay dudas en cuanto a que la utilización de estas *fuentes de energía no contaminantes* y que además son renovables, se irá en el futuro incrementando a medida que, en primer lugar los gobiernos del mundo asignen a la investigación tecnológica en este campo los recursos

necesarios, y en segundo lugar las fuentes tradicionales se vayan agotando y sus precios se eleven mientras los de las nuevas fuentes vayan bajando como consecuencia de la investigación.

La civilización actual está basada en el uso de la energía eléctrica. Ella es la que impulsa, controla y protege la casi totalidad de los dispositivos que usamos, desde una pequeña linterna hasta las mismas plantas donde la electricidad es producida. Como ejercicio, trate el lector de hallar mecanismos importantes que no usen energía eléctrica como el elemento esencial para su operación. Sería también muy útil a los fines de asimilar este trabajo sobre la energía, que trate de ver las transformaciones energéticas que tienen lugar en dispositivos que conoce. Tome para esto, por ejemplo, un ascensor, un acondicionador de aire o una heladera y una simple lámpara de iluminación del tipo incandescente.

Más del 99% de la energía eléctrica utilizada hoy se genera por la aplicación del fenómeno de producción de tensiones eléctricas por medio del magnetismo, fenómeno llamado *inducción electromagnética*, que tiene lugar en máquinas rotativas llamadas generadores. El fenómeno consiste en lo siguiente: imagine que hay una bobina o arrollamiento hecho con un alambre aislado y conductor de la electricidad (cobre por ejemplo); ahora considere que la bobina es colocada próxima a un imán, de manera que ella es atravesada por el flujo magnético del imán. Con ayuda de un instrumento puede comprobarse que cuando hay un movimiento relativo entre la bobina y el imán de tal manera que el flujo magnético concatenado con la bobina cambie, aparece entre los extremos de la bobina una fuerza electromotriz, es decir una tensión eléctrica. La tensión eléctrica es proporcional a la velocidad con la que varía el flujo que enlaza o abraza la bobina. En el caso de una central eléctrica, los extremos de la bobina son los bornes del generador; luego a través de distintos elementos, los transformadores, las líneas de transmisión en alta tensión y las redes de distribución, la energía es conducida hasta los lugares de aplicación. En la vivienda o en el trabajo la corriente es captada desde los llamados tomacorrientes.

Una importante fracción del total de energía eléctrica generada se utiliza en la producción de fuerza motriz, es decir potencia mecánica por medio de motores, que mueven multitud de dispositivos, desde heladeras, lavarropas, etc. en usos hogareños, hasta trenes y subterráneos. Asimismo, enorme cantidad de motores eléctricos son utilizados en las industrias. Una fracción importante de la energía eléctrica es consumida de noche en la producción de iluminación en los más diversos lugares. Cierta monto de energía eléctrica tiene aplicaciones electroquímicas, que consisten en la producción de algunos elementos químicos generalmente metales- por descomposición electroquímica de líquidos que los contienen. La fabricación del metal aluminio es una de esas aplicaciones. En Puerto Madryn, Provincia de Chubut, Argentina, hay una gran planta dedicada a esta actividad. No deje de visitarla cuando vaya a esa ciudad. En su nave de cubas electrolíticas, un guía le mostrará fenómenos magnéticos sorprendentes.

La aplicación de la energía eléctrica para la producción de fuerza motriz por medio de motores eléctricos, se basa en un fenómeno llamado *efecto electrodinámico*. Éste consiste en que cuando un conductor es puesto en un campo magnético, al aplicar una corriente eléctrica al conductor aparece una fuerza que tiende a moverlo. Si el conductor está montado sobre un eje mecánico, éste tenderá a girar. La fuerza aplicada al conductor es proporcional a su longitud, a la intensidad de la corriente que lo atraviesa y a la intensidad del campo magnético en el que se desplaza.

Para ampliar estos conceptos ver Capítulo 1. ¿Qué es la energía?, sección 1.2.5 La electricidad y Capítulo 2. Las transformaciones de la energía, secciones 2.3 La energía hidroeléctrica y 2.4 La fisión nuclear. Sobre los fenómenos electromagnéticos consultar Capítulo 5. Las transformaciones de la energía. Parte III, secciones 5.3 El rayo, 5.4 Los juegos energéticos en un automotor, 5.6 Centrales termoeléctricas y sección 5.11 Las cuatro fuerzas, Fuerza electromagnética.

4.4 Hidrocarburos es una palabra que significa compuestos formados por las combinaciones químicas de átomos de carbono con átomos de hidrógeno, el elemento más simple, y por lo tanto más liviano, y además el más abundante en el universo. La fórmula química es C_mH_n , donde los subíndices m y n son números que indican la cantidad de átomos

de cada elemento que forma una molécula del hidrocarburo. El número n puede ser hasta 4 veces el número m , debido a que la valencia química o cantidad de enlaces químicos posibles del carbono es 4, mientras que la del hidrógeno es 1. El metano, que constituye buena parte del gas del petróleo que surge de los yacimientos, tiene la molécula formada por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno, luego su símbolo químico es CH_4 . Este gas es utilizado profusamente en aplicaciones hogareñas (calefacción y cocina), en la generación de energía eléctrica en las centrales térmicas, en la industria petroquímica y en la propulsión de automotores en ventajosa sustitución de combustibles líquidos (nafta, gasoil) por su menor precio y su bajo poder contaminante.

A más de los hidrocarburos líquidos o gaseosos, existe el carbón mineral o hulla, que es sólido, y que también está constituido aunque en mínima parte por hidrocarburos de alto peso molecular. La hulla es también utilizada como combustible en las centrales eléctricas para producir vapor de agua que impulsa las turbinas que a su vez hacen rotar los generadores; hoy en cantidades ínfimas, para producir el vapor que mueve las locomotoras de los trenes a vapor (usados en general sólo en los países en desarrollo), en procesos industriales, etc. La primera red de distribución de gas en muchas ciudades, Buenos Aires entre otras, entregaba gas de hulla, que era un compuesto gaseoso que resultaba de la destilación de ese carbón.

El origen de los hidrocarburos es orgánico, aunque parezca extraño. A lo largo de épocas geológicas distantes del presente en decenas de millones de años, se fueron acumulando en el fondo de los mares los cuerpos muertos de enormes cantidades de especies animales de pequeño tamaño que los poblaban, formando así gruesos estratos. Estos a su vez fueron progresivamente cubiertas con material inorgánico que precipitaba desde la superficie o desde volcanes submarinos. Diversas causas combinadas provocaron lentamente la transformación química de ese material y así la formación de grandes yacimientos de hidrocarburos, a veces sólo petróleo, en general con una cámara de gas por arriba. Los complicados procesos de formación de la corteza terrestre hicieron que a veces esos depósitos quedaran cubiertos por kilómetros de arenas y rocas. Ellos son hoy las fuentes de la mayor parte de la energía que mueve a la civilización humana actual. El carbón mineral, también llamado hulla, tiene un origen parecido, pero a partir de la acumulación de materia vegetal.

Para ampliar el tema Hidrocarburos ver Capítulo 2. Las transformaciones de la energía. Parte I, sección 2.2 Los combustibles y Capítulo 7. Uso mundial de la energía, sección 7.3 Qué son químicamente los combustibles.

4.5 Las estrellas, enormes fuentes de energía. Cuando en una noche con cielo límpido miramos hacia arriba, podemos ver multitud de puntos brillantes. Casi todos son estrellas; unos pocos, nunca más de cinco, son los planetas. En general las estrellas son gigantescas esferas de gases a altísimas temperaturas, que se formaron a partir de la contracción gravitatoria de extensas nubes de materia en forma de gases -hidrógeno en su mayoría- y a veces partículas sólidas, a lo largo de millones de años.

Las estrellas se hallan a enormes distancias, que por esa causa no pueden expresarse en Kilómetros (Km), sino en años-luz. Un año-luz es la inconcebible distancia recorrida por la luz en un año, desplazándose por el vacío interestelar a razón de unos 300.000 (casi 1/3 de millón) de Km cada segundo! La estrella más cercana que podemos ver a simple vista se halla a unos 4 años-luz de distancia (Alfa Centauri); las más lejanas que podemos ver se hallan -lo que ocurre cuando estallan emitiendo enormes cantidades de luz, y entonces se llaman supernovas- a unos centenares de miles de años-luz.

Nuestro sol también es una estrella, la más cercana a nosotros, a apenas unos 8 minutos-luz de distancia. La luz que percibimos con nuestros sentidos -en el caso del sol también el calor- se debe a que la materia que constituye la superficie de las estrellas está muy caliente (unos 6.000 °C en el sol), es decir, tiene mucha energía térmica. Enormes cantidades. La energía radiada por las estrellas depende esencialmente de la temperatura de su superficie, y crece exponencialmente con su valor. Esa energía sale hacia la superficie desde el núcleo o centro de la estrella, que se halla a temperaturas de unos quince (15) millones de grados celsius (!). Allí se produce de manera sostenida una complicada reacción entre los núcleos de elementos de la materia, originalmente hidrógeno, el que se va transformando en helio y sucesivamente en otros elementos de peso atómico cada vez más alto. Esa reacción se llama

fusión, porque consiste en la unión de núcleos de elementos. Esta reacción es la opuesta a la que se produce en las centrales nucleares de generación eléctrica, en donde núcleos de un elemento pesado, el uranio, se desintegran en elementos más livianos, reacción que por eso se llama *fisión*. La cantidad de energía que recibe nuestro planeta Tierra desde el sol es una porción ínfima de toda la que él irradia. El resto, es decir casi toda, se pierde en el espacio. Y aunque nos resulte difícil de imaginar y mucho más de entender, *en las estrellas*, al igual que en los reactores de las centrales nucleares de nuestra Tierra, *parte de la materia se convierte en energía*, tal como la teoría de la relatividad lo había previsto a principios del pasado siglo XX. En algunas estrellas, se calcula que centenares de miles de toneladas de materia desaparecen convertidas en energía en su núcleo, en cada segundo!

Prácticamente todas las formas de energía que tenemos en nuestro planeta Tierra, incluyendo la vida, se han originado (y aún hoy son creadas) a partir de fenómenos producidos en su superficie por la energía que irradia el sol, desde hace miles de millones de años. Los combustibles naturales -excepto la madera- provienen de la fosilización de enormes acumulaciones subterráneas de materia viva a lo largo de millones de años. La madera, el combustible de centenares de millones de seres humanos pobres, se produce en la naturaleza gracias a las radiaciones que llegan desde el sol.

Entonces, puede decirse que *todas las formas de vida* que pueblan nuestro mundo, sean animales o plantas, existen gracias a la energía que nos llegó y nos llega hoy mismo desde el sol. Sin él, no habría vida alguna en nuestro planeta. Sería un mundo desierto y congelado. Se comprende así porqué muchos pueblos, algunos no tan primitivos, como los incas, adoraban al dios Sol (Inti). Pero vivamos tranquilos, porque el sol va a seguir irradiando energía en la forma de luz y calor por muchos millones de años más y, lo que también es importante, siempre con la misma intensidad, de modo que no nos calcinaremos por mucha ni nos congelaremos por poca. Estas afirmaciones están basadas en el conocimiento científico *actual* sobre el sol.

Por último, hay que saber que *todos los fenómenos climáticos*, por ejemplo los vientos, las nubes, las tormentas con sus lluvias, granizos o nieve y rayos, las variaciones de temperaturas, las corrientes y las olas en el mar, etc., *derivan también de la energía radiante del sol recibida por la Tierra.*

4.6 Otras formas de energía provenientes del sol. Éstas son más sutiles que la luz y el calor, en cuanto a que nuestros sentidos no las detectan, lo que a veces es peligroso porque pueden dañar nuestra salud. Tomemos por ejemplo *los rayos ultravioletas*, llamados así porque cuando la luz del sol es dispersada (refractada) en sus colores componentes por las gotas de una lluvia formando lo que llamamos un arco iris en el cielo, o bien mediante un prisma de vidrio en un laboratorio, los colores forman bandas que van desde el rojo hasta el violeta, y en ese *espectro de la luz* los rayos ultravioletas están *más allá* (en latín: ultra) del violeta. Nuestros ojos no ven más allá del violeta, de la misma manera que tampoco ven más allá del rojo, los llamados rayos infrarrojos, que nuestra piel siente como calor. Los rayos ultravioletas son esenciales para la vida animal, pero cuando nosotros nos exponemos por horas a ellos, en una playa por ejemplo, nos queman la piel y nos pueden producir dolorosas y a veces mortales lesiones. Por eso es importante cuidarse del sol, fundamentalmente no exponiéndose durante largo tiempo sobre todo alrededor del mediodía, que es cuando esos rayos son más intensos, porque estando el sol en su máxima altura sobre el horizonte, ellos atraviesan un mínimo recorrido de la capa de ozono que hace de atenuador de la intensidad con que llegan al suelo. La energía que llega a la superficie de la Tierra desde el sol como radiación ultravioleta es muy pequeña comparada con la de la luz y el calor, porque la capa de ozono los absorbe en gran parte. El ozono es un gas cuya molécula está formada por *tres* átomos del elemento oxígeno (O₃), en lugar de dos, como es el caso de este último (O₂).

Para ampliar la información ver Capítulo 9. Contaminación producida sobre el medio ambiente por el uso de la energía, Sección 9.13 La disminución de la capa de ozono en la atmósfera.

4.7 Hay más formas de energía que nos llegan desde el cosmos, por ejemplo los rayos *gamma*, los rayos X, los rayos *cósmicos* (en realidad partículas de gran velocidad, casi la

de la luz, por ello muy energéticas), las partículas materiales lentas que constituyen el llamado “*viento solar*”, causantes de las auroras polares, los *neutrinos* y las *ondas de radio* largas como la del hidrógeno. Todas ellas son muy interesantes para los científicos, porque aún no están todas bien explicadas sobre todo en cuanto a su origen, pero que tanto como se sabe hoy no son de gran importancia para la vida en la superficie de nuestro planeta, salvo que sus intensidades aumentaran mucho y llegaran a ser letales. Es oportuno mencionar aquí que las ondas de la radio y la televisión, el calor, la luz, los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma, son todos iguales en cuanto a su naturaleza física, ya que son ondas eléctricas y magnéticas combinadas, es decir electromagnéticas, que se propagan a la velocidad de la luz. Cada onda, también considerada una partícula (y depende del fenómeno el que sea considerada una u otra) es portadora de cierta energía, de un valor ínfimo. *La energía de cada onda-partícula*, llamada quantum o cuantum o fotón, depende de la frecuencia de la onda. Como lo explica la teoría cuántica (iniciada por Max Planck en 1.900, último año del siglo XIX), la energía de un fotón crece proporcionalmente con la frecuencia de las ondas. La fórmula que expresa esto es muy simple: $e = k \times f$, en donde e es la energía de cada onda-partícula, k un valor fijo llamado constante de Planck y f la frecuencia de la radiación considerada. Por eso, la energía penetrante de la radiación electromagnética aumenta desde las ondas de radio (baja frecuencia, poca energía) hasta los rayos X y sobre todo los rayos gamma (alta frecuencia, mucha energía en cada fotón), que podrían por eso ser muy dañinos para la vida terrestre si lograrán atravesar la capa protectora constituida por la atmósfera. Cuando tomamos sol, no son las ondas calóricas o rayos infrarrojos, ni las ondas luminosas las que dañan nuestra piel y nos pueden producir cáncer, sino los rayos ultravioleta, de frecuencia superior a los dos anteriores, que según vimos portan por eso la mayor energía de los tres. Es la capa de ozono situada en alta atmósfera, en continuo deterioramiento por obra de la acción humana, la que desde el más remoto pasado ha atenuado la radiación ultravioleta proveniente del sol, e incluso eliminado las más nocivas de ellas.

El estallido de alguna estrella próxima a la Tierra transformada así en una supernova, podría provocar esta catástrofe, pero afortunadamente ninguna estrella vecina da señales de entrar en esa fase por ahora.

4.8 La energía atómica merece una mención especial, porque una parte considerable de la energía eléctrica que hoy consumimos en la Argentina -y en el mundo en general- es generada, es decir producida, en centrales atómicas, o nucleares, como también se las llama. La energía eléctrica que estas centrales generan es de potencia constante (llamada por esto potencia de base), debido a que los reactores nucleares, el corazón de este tipo de centrales, no toleran variaciones de potencia. El caso extremo de una variación de potencia es su total detención, lo que constituye un problema por la alteración que se produce en el reactor.

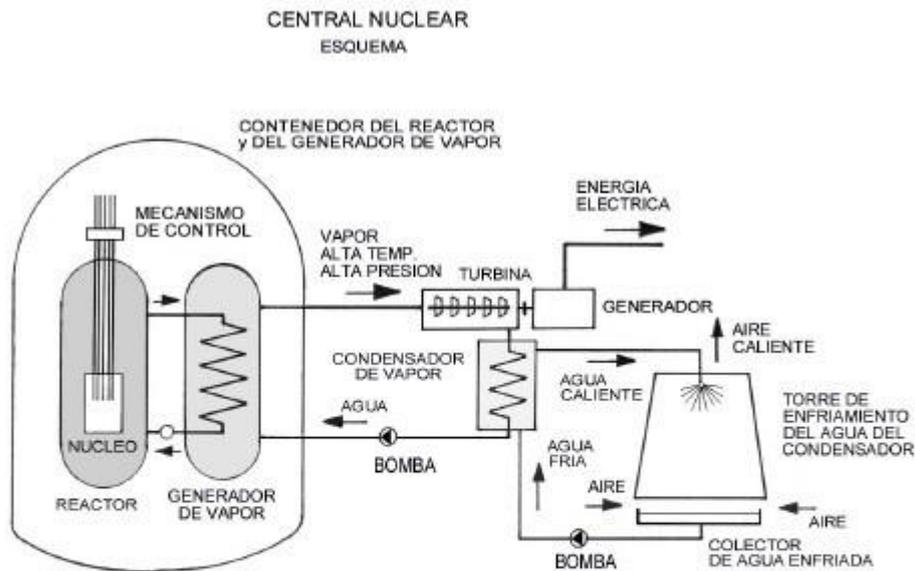
En esas centrales los núcleos de enormes cantidades de átomos de ciertos materiales pesados (de alto peso atómico), como el metal uranio, se desintegran continuamente dentro del reactor de manera controlada en un proceso llamado fisión (división), con gran generación de calor. Este calor es el que se usa para calentar, hacer hervir y así evaporar agua para lograr vapor a altas temperaturas y presión, o sea con mucha energía por unidad de masa. Ese vapor de agua se envía luego hacia máquinas llamadas turbinas, (que son como una serie de hélices de ventiladores montados sobre un mismo eje, por supuesto con un diseño y un ensamble mucho más complicados), las que por la energía del vapor que presiona contra sus álabes a gran velocidad, rotan (giran) velozmente suministrando de esa manera gran potencia mecánica. Cada turbina está acoplada (unida) a un generador eléctrico, que al girar genera la electricidad que llega a nuestras casas. Ver Sección 4.3 Electricidad, en este Capítulo.

Las centrales nucleares son en el fondo también centrales térmicas, es decir, que funcionan por medio del calor, como las que queman combustibles del petróleo, aunque la fuente de calor es totalmente distinta. Pero son de operación (manejo) muy delicado, por lo cual poseen complicados y seguros sistemas de control para evitar accidentes, que pueden ser gravísimos debido a la contaminación del aire, la tierra y el agua con material radioactivo que podría entonces quedar en libertad, el que tiene serios efectos sobre la vida animal en general. Por este riesgo y porque como residuo de operación producen materiales que permiten la fabricación de armas nucleares (el plutonio), hay cierta oposición a su existencia. Hay

movimientos de opinión pública mundial que llegan a exigir que se desactiven todas las centrales nucleares hoy en operación y no se construyan más. Lo que no se dice es que la potencia faltante por la desaparición de esas centrales tendría que ser suplida en su mayor parte por centrales que queman combustibles, que son nada menos que las que contaminan junto con otras actividades- la atmósfera, provocando toda clase de problemas, entre ellos el devastador calentamiento global del planeta.

En el mundo operan hoy unas cuatrocientas centrales nucleares de diverso tipo distribuidas en unos treinta países, con algunas más hoy en construcción. Por estadísticas de hace unos pocos años, estas centrales generaban un 17 % de la energía eléctrica mundial. En Argentina, donde existen dos centrales nucleares en operación y una en construcción, en el año 2.000 y sobre un total de 82.374 Giga Watts hora de energía eléctrica generada, *las centrales nucleares aportaron 6.177 GWh, es decir un 7,5 %.* (Giga significa 1.000 millones). Ellas son del tipo con reactor a uranio natural, es decir no enriquecido, extraído de yacimientos argentinos y procesado en el país. La moderación del flujo de neutrones –las partículas nucleares que producen la fisión de los átomos de uranio dentro del reactor-, se logra con agua pesada. En estas centrales no se han producido, hasta el momento de elaborar el presente trabajo sobre la energía, desperfecto alguno que hubiera podido conducir a un accidente nuclear.

Las críticas catastrofistas en contra de las centrales nucleares, no están sin embargo sustentadas por los registros mundiales disponibles sobre su operación y las situaciones de riesgo a que han dado lugar a lo largo de casi medio siglo de operación, excepto en un solo caso (Chernobyl, en Ucrania). Esos registros permiten afirmar que si las centrales son rigurosamente controladas, tanto en su operación cuanto en el manejo de sus residuos radioactivos, el riesgo de contaminación al ambiente es casi nulo y la eventualidad de que esos materiales puedan ser utilizados por terroristas con fines de destrucción masiva quede muy reducida, aunque no eliminada. Con esos recaudos cumplidos con rigor creciente, la generación de energía eléctrica por este medio puede considerarse de muy bajo poder contaminante, mucho menor que el de los combustibles hidrocarburos, con su continua contaminación de la atmósfera, las aguas y las tierras del planeta. Y en cuanto al riesgo terrorista, hay que recordar que el peor atentado con la mayor cantidad de muertos, se realizó utilizando hidrocarburos como el agente principal de destrucción. (Ver el Capítulo 5. Las transformaciones de la energía, sección 5.5 Cómo con energía cinética, térmica y potencial, se desploman dos maravillas). La deficiente información que llega al pueblo a este respecto, junto con el tremendo poder de los intereses que existen detrás de otras fuentes de energía, que sí son muy contaminantes, unido esto a la oposición inexplicable de organizaciones mundiales que luchan contra la contaminación, hacen que la energía nuclear sea combatida aún en países donde no han ocurrido accidentes nucleares ni se registra extravío alguno de materiales para la construcción de armas de destrucción masiva. Para ampliar el tema consultar el Capítulo 9. Contaminación producida sobre el medio ambiente por el uso de la energía, sección 9.6 Centrales nucleares de generación eléctrica. Terrorismo nuclear.



Funcionamiento del reactor:

- En el REACTOR la fisión (rotura de núcleos de átomos) de uranio genera calor (energía térmica).
- Este calor pasa al líquido que rodea al reactor, el que se envía al Generador de vapor.
- El Contenedor impide que cualquier fuga radioactiva que pudiera producirse pase a la atmósfera.
- El vapor generado a altas presión y temperatura mueve la turbina (energía mecánica).
- La turbina mueve el Generador y éste produce energía eléctrica para consumo.
- El Condensador recupera por razones de economía el agua que constituye el vapor de bajas presión y temperatura que sale de la turbina. Lo hace por medio del agua de refrigeración que viene de la torre de enfriamiento por aire.

Figura 3. Central nuclear.

4.9 Energía de la materia viva. Hay finalmente una forma de energía que no es tan visible, que apenas es percibida en su aspecto energético, por causa de su pequeñez y falta de brillo. Es la energía que forma parte de la vida, ese maravilloso fenómeno que cubre nuestro delicado planeta Tierra en el que vivimos, vida que entonces debe ser considerada y tratada con extremo cuidado. Es la energía de lo que se llama *biomasa*, que es el conjunto de todos los seres vivos que existen en nuestro planeta, sean aquellos que viven sobre la superficie de la tierra o en el agua, sean de especies vegetales o animales. El monto de la energía de la biomasa es insignificante si se la compara con la energía que viene del sol, de la cual deriva y por la cual se mantiene, pero es importante simplemente porque es la manifestación de todas las formas de vida, dentro de las cuales está incluido el hombre.

La vida es un mágico acontecer en el universo, de existencia muy improbable en su tremenda extensión fuera de la Tierra, como parecen indicar las últimas investigaciones científicas. Todavía no totalmente entendida ni hasta por los científicos que la estudian, quizás por su tremenda complejidad. Como dijo un famoso hombre de ciencia, tal vez es más fácil entender en detalle qué es una estrella, que qué es una brizna de pasto. Los tremendos avances de las ciencias biológicas, especialmente los relacionados con los genes de las células y su *elemento portador de las características de los seres vivos, la molécula del ácido dioxirribonucleico (ADN)*, han explicado muchos misterios de la vida, pero aun quedan muchos otros por descubrir.

La vida en nuestro planeta ha surgido y evolucionado a lo largo de casi cuatro mil millones de años, como consecuencia de complejísimo fenómenos y favorables condiciones que tuvieron lugar en sus océanos, vida que luego pasó a la tierra, siempre bajo las favorables influencias de las radiaciones provenientes de la estrella que la Tierra orbita, el sol. A veces aquellas condiciones se transformaron lenta o rápidamente de manera catastrófica, provocando esos cambios la extinción de muchas formas de vida y dando lugar al surgimiento

de otras. Así parece haber ocurrido, por nombrar un caso, con la desaparición de los dinosaurios hace unos 65 millones de años, y la posterior aparición de los mamíferos, hecho atribuido entre otras posibles causas al impacto de un gran asteroide contra la Tierra. Bajo las radiaciones energéticas del sol y a través de complicados fenómenos que ocurrieron en el planeta a lo largo de extensos períodos, los seres vivos y en especial los animales, fueron desarrollando tejidos orgánicos de complejidad creciente y de muy distinta naturaleza anatómica y fisiológica, es decir de formas y de funciones, constituyendo de esta manera los cuerpos de las plantas y de los animales actuales. Estos tejidos orgánicos, formados por pequeñas unidades de vida que llamamos células, se renuevan y modifican lentamente en cada individuo desde su nacimiento hasta su muerte, así como en cada especie a lo largo de su lenta evolución biológica, tal como lo explica la *teoría de la evolución natural de las especies*.

El punto importante con relación al tema que trata este trabajo, es que *los seres vivos también contienen energía*, siempre en forma de energía química, que se va transfiriendo en la llamada *cadena alimenticia* desde los vegetales hacia los animales que se alimentan de ellos (llamados por eso herbívoros), y luego desde éstos hacia sus depredadores (por eso llamados carnívoros). En otras palabras, puede decirse que en general la energía de la biomasa se traslada, a través de los alimentos, desde las formas más primitivas de vida hacia las de mayor complejidad en las escalas de las distintas especies animales. La energía de la biomasa está muy poco concentrada en cada individuo, y muy dispersa sobre el planeta, sea en las aguas o sobre la tierra, pero el conjunto de todas las formas de vida existentes es muy importante desde muchos puntos de vista. *La mayor parte, en peso, de la energía de la biomasa está representada por el conjunto mundial de los vegetales*, sean en forma de bosques o de pasturas y arbustos de llanura. Hay que decir que constituye una verdadera tragedia que esta maravilla, única en todo el universo según nuestros conocimientos actuales al respecto, sea destruida de manera acelerada por el hombre, cumbre de toda la evolución biológica.

A fin de dar alguna idea numérica de los valores de las energías que los seres vivos del reino animal necesitan para crecer y vivir, es útil enterarse de que un ser humano adulto promedio transfiere al medio ambiente en la forma de calor y trabajo mecánico entre 60 y 200 Watts de potencia, aproximadamente, según las actividades físicas que desarrolle. En reposo, sobre todo durmiendo, manifiesta el valor mínimo; realizando grandes esfuerzos físicos, el máximo. Un equino de 500 Kg en carrera entrega muchas veces más. Una pequeña ave, aún en vuelo, muchas menos. *¿De dónde sale la energía que manifiestan los animales hacia el exterior en la forma de calor y trabajo mecánico?* La observación muestra que todos los seres vivos deben tomar alimentos que a través del metabolismo de sus cuerpos, les permitan disponer de reservas como para desplegar esas energías vitales.

El poder energético de los alimentos se mide en calorías, y para cada régimen de vida hay una cantidad de calorías alimenticias que deben ingerirse. Los animales que ingieren en un período, digamos de un mes, alimentos con más calorías que las que disipan en ese período, van engordando; la energía sobrante se acumula en la forma de grasa, tejido que encierra mucha energía por kilogramos de peso. Por el contrario, la ingestión de menos calorías que las necesarias para la actividad física que se realiza, produce pérdida de peso porque el cuerpo quema parte de sus tejidos. Sería de suma utilidad para mucha gente observar que en los animales que no están alimentados por los hombres, no hay gordos, porque ellos comen lo necesario, no por glotonería.

La energía de los animales fue históricamente y aún hoy es utilizada en regiones donde no se dispone de otras formas de energía, para el transporte humano o de cargas, para la extracción de agua de pozos y ríos, para deportes, etc. *En el conjunto de todas las energías utilizadas por la humanidad, la de origen animal es insignificante*. El hombre primitivo, que era incapaz de producir por sí otras formas de energía, utilizaba para poder vivir sólo la energía de su propio cuerpo y aquellas que podía dominar en la naturaleza. Consumía los vegetales de los bosques y sus frutos (hidratos de carbono), así como carnes (proteínas) de los animales que cazaba, todos ellos fuentes de energía que incorporaba a su cuerpo para crecer, renovar sus tejidos, moverse, mantener su temperatura, etc. También utilizó el calor de combustión de la madera para calentarse, cocer sus alimentos, fundir metales, fabricar vidrio, ladrillos, alfarería, construir sus armas, etc. A medida que el hombre evolucionaba sobre todo culturalmente, construyó con la madera viviendas y su moblaje, puentes, vehículos de tracción a sangre,

barcos, etc. Ya en el más refinado grado de sofisticación, en la primera mitad del siglo XX, los hombres aprendieron a volar y despegaban del suelo rumbo a los cielos en aviones de madera, para realizar tareas varias, por deporte o para combatir y bombardear al enemigo en sus numerosas guerras.

La energía de la biomasa es esencial en el juego de las distintas formas de vida que pueblan el planeta, incluyendo al hombre, y también con relación al mantenimiento de las condiciones atmosféricas que la sustentan. Pero como por diversas razones la energía de la biomasa no puede competir como combustible con los hidrocarburos y la hulla o carbón mineral, y por lo tanto no es comercializable como éstos, es en general dejada de lado en los esquemas energéticos de los países y, peor aún, no es debidamente respetada como principal soporte de la civilización de nuestros días. Pero la realidad es que gran parte de la población pobre del mundo actual, sobrevive sólo con los alimentos que puede obtener de la naturaleza o por cultivos de tecnología primitiva, y utiliza la madera como su única fuente de energía. Para comprobar esto no es necesario viajar al África, basta con recorrer vastas zonas del territorio de Argentina y de sus países vecinos, y muchos otros.

Hay que hacer notar con relación a la biomasa, que los combustibles minerales actuales, como el petróleo y el carbón mineral, que proveen al mundo de gran parte de la energía que consumimos, son el producto de la descomposición geológica a través de muchos millones de años, de enormes depósitos de diminutos animales y de plantas de todo tamaño -la biomasa de entonces- que poblaron la superficie del planeta, es decir sus mares y sus tierras, en un lejano pasado. Este fenómeno, aunque continúa hoy día, nunca alcanzaría para mantener las reservas frente al ritmo creciente del consumo, de modo que esas reservas fatalmente se agotarán en el futuro.

Consideraremos a continuación en mayor profundidad el importante tema de las transformaciones energéticas, para entender aún mejor su importancia.

5. Las transformaciones de la energía. Parte III.

5.1 General. Reiterándolo una vez más, porque su importancia lo amerita, digamos que una propiedad descollante que caracteriza a la energía es la posibilidad de que, naturalmente o por procesos desarrollados por el hombre a veces imitando a la naturaleza, distintas formas de energía pueden transformarse unas en otras, con ciertas limitaciones impuestas por las leyes que rigen el mundo físico. Las energías que se liberan en muchos fenómenos que ocurren en distintos puntos del universo, pueden hacerse notables en otros fenómenos energéticos, en general distintos a los originales, que pueden ocurrir con cierta demora en otros puntos situados a enormes distancias.

El ejemplo más significativo para nosotros son las transformaciones energéticas que registra la estrella que llamamos sol, nacida de la condensación gravitatoria de una nebulosa en la que su energía potencial se transformó en cinética y ésta a su vez en calor por colisión entre las partículas, hasta que la temperatura de su centro llegó a tan alto valor que se iniciaron las reacciones de fusión que transforman los núcleos de los elementos primitivos, en su gran mayoría hidrógeno, en otros más complejos. En ese proceso se liberan enormes cantidades de energías de distinta naturaleza por transformación de una insignificante parte de la materia en energía. Esas energías fluyen hasta la superficie del sol, desde donde irradian hacia el espacio cósmico circundante con diversas formas: radiaciones electromagnéticas (calor, luz visible, luz ultravioleta, rayos gamma) viajando a la velocidad de la luz, más otras constituidas por partículas como los neutrinos a la velocidad de la luz y fragmentos de átomos de bajas velocidades, estos últimos manifestándose en las auroras polares, la disrupción de las comunicaciones radiales, la alteración del campo magnético terrestre e inclusive la ocurrencia de fallas en sistemas de transporte de energía eléctrica. Las radiaciones que viajan a la velocidad de la luz, en unos ocho minutos recorren unos ciento cincuenta millones de kilómetros hasta llegar a la Tierra, en donde originan numerosos fenómenos físicos que podemos observar fácilmente a nuestro alrededor en todo momento.

Otros importantes ejemplos de transformación de una forma de energía en otra: la energía química o interna de los combustibles, que se transforman en energía cinética y/o potencial de un cuerpo (en automóviles, aviones, etc.); la energía de una radiación electromagnética, como las ondas de radio, que se transforman a distancia en imágenes y sonido (en los equipos de radio y televisión); la energía eléctrica constituida por desplazamientos de electrones en los conductores, que se transforman en energía mecánica, calor, luz, procesos químicos, etc. (en motores, estufas y hornos, lámparas de iluminación, cubas electrolíticas, etc.).

Es de capital importancia para entender los juegos energéticos, saber que la experimentación y la observación muestran, mas allá de toda duda, que en poco o en mucho tiempo casi todas las formas de energía se irán finalmente convirtiendo en calor. Es una ley universal que para algunos investigadores científicos contiene un significado muy profundo, porque parecería definir el futuro remoto de todo el cosmos, que se convertiría en un universo donde toda la energía original se hubiera degradado por conversión en calor, sin lugar para la ocurrencia de fenómeno alguno que pudiera transformar a ese calor en otra forma de energía. Es la llamada muerte térmica del universo.

Empecemos por los fenómenos más simple que se pueden observar en la naturaleza, sin o con intervención del hombre, para así entender mejor los procesos de transformación de una forma de energía en otra.

5.2 El agua, esa sustancia que podemos ver por doquier sobre nuestro planeta, es la fuente y sustento de todas las formas de vida que existen en él, e inclusive entra mayoritariamente en su constitución. Por ejemplo, en los animales superiores, los mamíferos, el agua constituye unas 7/10 partes del peso del cuerpo. El agua resulta de la combinación de los gases hidrógeno y oxígeno, en la proporción de dos volúmenes del primero con uno del segundo. (Es una reacción explosiva muy exotérmica, es decir, con desprendimiento de mucho calor, por lo que no se aconseja realizar el experimento para comprobar la constitución del agua). Por eso su fórmula química es H_2O . *El agua se presenta en la naturaleza en tres distintos estados físicos: sólido, líquido y vapor* (que se dan partiendo desde una baja temperatura y subiéndola, con lo cual se aumenta también la energía térmica contenida por unidad de masa). En el *estado líquido*, el más común, constituye los océanos, mares, lagos y ríos. En la atmósfera, que cubre todo el planeta, se lo encuentra en su mayor parte en *estado de vapor*, que no es visible (a las nubes las vemos no porque sean de vapor de agua solamente, como en general se cree, sino porque son enormes conjuntos de pequeñísimas gotitas de agua líquida resultantes de la condensación de aquél, que reflejan la blanca luz solar). En el *estado sólido*, es decir como hielo y nieve, se la encuentra casi toda en los casquetes polares, flotando sobre el agua (Ártico) o sobre un continente y el mar que lo rodea (Antártida), y en mucho menor proporción en las cumbres de las altas montañas. La mayor reserva de agua dulce del planeta se halla cubriendo el continente de la Antártida, en la forma de un gran casquete de hielo de kilómetros de espesor, así como en la forma de enormes campos de hielo que flotan sobre el mar que lo rodea. Toda esa maravilla se halla a relativamente poca distancia del territorio de Argentina y desde hace un siglo está siendo estudiada por sus científicos. Las *corrientes marinas* son consecuencia de diferencias de temperaturas del agua de los océanos y mares y de la rotación de la Tierra. El *agua de los ríos*, alimentados por las lluvias y las nieves fundidas, se desplaza por la superficie terrestre a causa de los desniveles del terreno y la acción de la gravedad, desaguando en *lagos, mares y océanos*, donde se mezcla con el agua que ya hay en ellos. Esa agua lentamente se evapora bajo la acción del calor solar, para incorporarse nuevamente a la atmósfera, desde donde a través de las nubes arrastradas por el viento va precipitándose hacia la superficie terrestre, cerrando así el llamado *ciclo del agua*. Los vientos, siempre conteniendo cierta cantidad de agua en la forma de vapor y nubes, se originan también en la radiación solar, que crea distintos desequilibrios térmicos y barométricos (de presión) en la atmósfera, y sus direcciones son influidas además por la rotación del planeta sobre su eje (aceleración de Coriolis). *Todo el ciclo del agua, con las transformaciones de estado descritas, constituye un complejo conjunto de*

fenómenos energéticos, que pueden englobarse en la categoría general de fenómenos termomecánicos causados por la radiación electromagnética proveniente de la estrella sol.

5.3 El rayo. A continuación se describirá en cierto detalle este fulgurante fenómeno porque constituye un interesante caso de múltiples transformaciones de energías que ocurren en una fracción de segundo, y también porque está íntimamente vinculado a los fenómenos que protagoniza el agua bajo la acción solar.

Durante las tormentas se forman dentro de las nubes grandes cargas de electricidad estática, a menudo induciendo en otras nubes y/o en la superficie terrestre o las aguas, cargas de polaridad opuesta, de modo que aparecen así extensos campos eléctricos en los espacios intermedios. Cuando esos campos eléctricos alcanzan suficiente intensidad, las moléculas de los gases que forman el aire, normalmente aislantes, pierden electrones (se ionizan) y permiten de pronto el paso de las cargas inicialmente estáticas entre las nubes y/o entre una nube y las superficies terrestre sólida o acuosa que se hallan debajo. Se producen así esas poderosas descargas eléctricas que llamamos rayos, fenómeno espectacular como pocos y que causa pavor a mucha gente, sobre todo cuando ignoran su naturaleza y le atribuyen origen mágico. El rayo es entonces una corriente eléctrica variable de muy corta duración que puede alcanzar gran intensidad (centenares de miles de amperes, unidad de medida de la corriente eléctrica), y por lo tanto calienta el aire a muy alta temperatura, fenómeno que se percibe a gran distancia como una fuerte luz que llamamos relámpago.

Como se trata de la liberación de una importante cantidad de energía en un brevísimo tiempo, suele causar a veces graves daños en los objetos que alcanza cuando toca el suelo o el agua, por quemaduras y por explosión, y por lo tanto en general mata a todo animal sobre cuyo cuerpo, o próximo a él, pasa la corriente. Dado que toda corriente eléctrica se origina en la existencia de un campo eléctrico, y que al circular las cargas que la integran crean a su vez un campo magnético a su alrededor, decimos que el rayo es un fenómeno electromagnético (como cualquier otra corriente eléctrica). Esos dos campos de fuerzas, el eléctrico y el magnético creados por la fuerte descarga eléctrica, se propagan por el espacio, junto con el campo electromagnético de la luz que constituye el relámpago, a la velocidad de unos 300.000 Km cada segundo. Debido asimismo al súbito calentamiento que la descarga eléctrica provoca al aire por donde ella se propaga (muchos miles de grados Celsius!), los gases se dilatan instantáneamente como si se tratara del estallido de un explosivo, y ese ruido es lo que llamamos trueno, que se propaga por el aire a razón de 1/3 de Km/segundo, que es la velocidad del sonido. Asimismo, el rayo provoca que moléculas del gas oxígeno de la atmósfera, constituidas cada una por dos átomos de ese gas (O_2), en el volumen de la descarga se desintegren y vuelvan a combinarse en moléculas formadas por tres átomos de ese elemento, que es el gas ozono (O_3), el que filtra los rayos ultravioleta letales provenientes del sol.

Como puede apreciarse, el rayo es un interesante fenómeno natural donde se manifiestan -a partir del campo eléctrico estático creado por cargas eléctricas que se forman en las nubes y por inducción en la tierra- considerables montos de energía en la forma de campos electromagnéticos variables que se propagan a la velocidad de la luz (relámpago y ondas de radio), sonido (el trueno), efectos químicos (producción de ozono), y hasta efectos destructivos de naturaleza mecánica y térmica sobre los objetos que alcanza en el suelo (edificios, árboles, animales, aviones en vuelo, etc.).

Como interesante y a su vez simple y seguro experimento y observación que hacen entender mejor el fenómeno del rayo, en alguna ocasión en la que vea un relámpago y/o oiga un trueno de alguna tormenta no muy próxima, prenda una radio y sintonícela en un lugar del dial de AM (no FM) donde las señales de voces o música sean mínimas. Observará que simultáneamente con la percepción de un relámpago, la radio emite un breve ruido, similar al que se oye cuando se conecta a la red de distribución eléctrica o desconecta de ella un artefacto cualquiera (hágalo y escuche). Analice el fenómeno según lo dicho anteriormente.

Todo lo anterior muestra cómo a partir de complejos fenómenos nucleares que se producen en el centro de una estrella, el sol, que generan la emisión desde su superficie de enormes cantidades de energía al espacio mayormente en la forma de calor y luz, la Tierra,

situada a unos ciento cincuenta millones de kilómetros de distancia, experimenta complejos fenómenos que incluyen energías térmica, mecánica, electromagnética y química. La descripción de esos fenómenos muestra que las distintas formas de energía se transforman de continuo unas en otras, con un coeficiente de equivalencia fijo entre cada par de todas ellas, importante propiedad de la energía que ha sido comprobada experimentalmente sin lugar a dudas.

5.4 Juegos energéticos en un automotor. Definiremos como *automotor* (auto = por sí mismo + motor = que se mueve) a un vehículo de transporte terrestre que puede ser un automóvil, un ómnibus, un camión, una motocicleta, etc., que se mueve gracias a la potencia que suministra un motor montado sobre él. El motor más común de un automotor es del tipo de *combustión interna*, que consume *combustibles hidrocarburoados*, sea nafta, gasoil o gas natural (del petróleo) comprimido (abreviado:GNC). El *automóvil eléctrico*, que brindaría tantos beneficios por su baja contaminación ambiental en las zonas urbanas, no se halla aún disponible en el mercado automotor, aunque su introducción progresiva no parece lejana.

Pero ¿tenemos una idea de los numerosos fenómenos energéticos que tienen lugar en esas máquinas? Vale el esfuerzo enterarse, porque es algo muy interesante, de lo que sin embargo pocos conductores de automotores son conscientes. Analizaremos entonces a ese fin cómo diversas clases de energía se van transformando en un automotor unas en otras, hasta terminar casi todas ellas convertidas en calor. Es el complejo proceso que ocurre en un automotor –se eligió un automóvil con motor de combustión interna y de tipo alternativo a este efecto- desde que se enciende el motor, se pone en marcha hasta adquirir cierta velocidad y en un momento dado es frenado por el conductor hasta llevarlo nuevamente a la inmovilidad.

Una gran proporción de los combustibles llamados hidrocarburos, es decir provenientes del petróleo, se consumen en impulsar vehículos en general, se desplacen ellos por tierra, agua o aire.

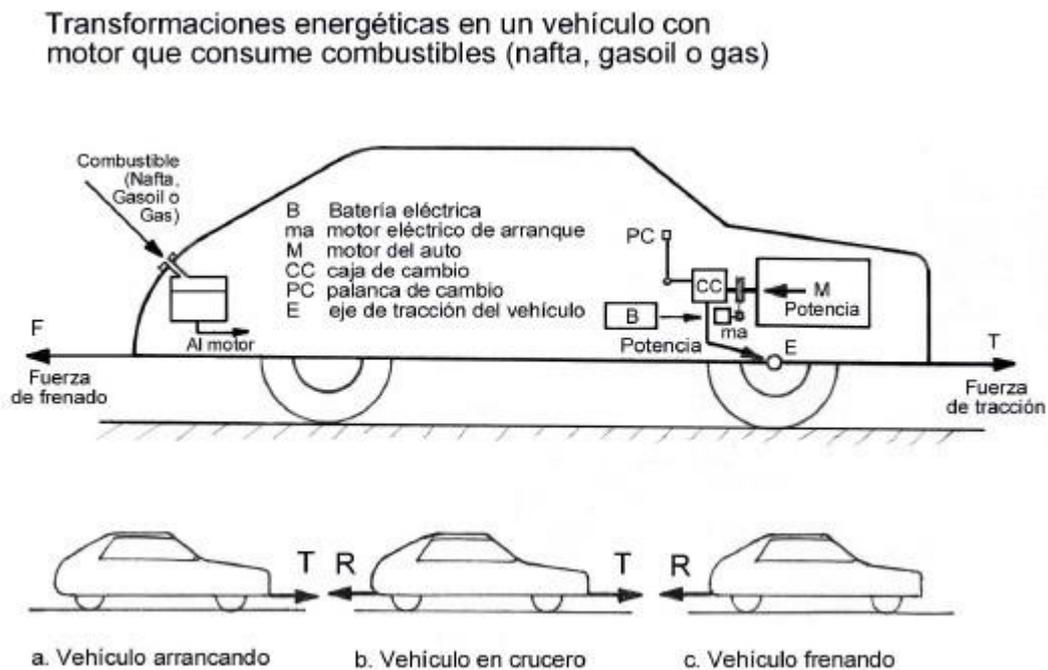


Figura 4. – Transformaciones energéticas en un vehículo con motor a combustible (nafta, gasoil o gas).

A continuación se describe entonces el interesante y complejo juego de las diversas energías que se manifiestan en el uso de un automóvil. Su lectura y comprensión ayuda de paso a manejar mejor estas útiles máquinas. a. Vehículo arrancando:

-El automóvil está detenido. El conductor, sentado frente al volante, cierra el interruptor (llave) de arranque del motor, transformando así una pequeña cantidad de la energía química de los alimentos que ha ingerido en los últimos tiempos en energía mecánica muscular para mover la llave.

-Así la energía química de la batería se transforma en energía eléctrica que pasa a energía mecánica en el motor de arranque, el que a su vez hace rotar el motor del automóvil.

-Al girar, el motor aspira combustible y aire en una proporción justa como para que el primero arda totalmente a alta temperatura en el interior de las cámaras de combustión de sus cilindros, lo que ocurre gracias al encendido que brinda una chispa eléctrica (u otro dispositivo) justo en el momento en que la presión de la compresión ejercida por los pistones es máxima. Al quemarse en presencia del oxígeno del aire, el pequeño volumen del combustible aspirado se transforma en una fracción de segundo en un volumen de gases a alta temperatura y mucho mayor presión, la que ejerce así una gran fuerza sobre las caras de los pistones del motor. Esa presión, gracias a una combinación ingeniosa de dos piezas llamadas biela y cigüeñal, se aplica en forma de torque o cupla al eje del motor. Desde que el motor arrancó la energía química del combustible se transforma en calor (energía térmica), la que a su vez se transforma en energía mecánica que aparece en el eje del motor.

-Ahora el conductor, a través de la caja de cambios, aplica lentamente la energía del motor a las ruedas, las que por estar adheridas al suelo por el rozamiento, hacen que el vehículo comience a moverse por el principio de reacción hacia adelante sobre el camino, que suponemos en una primera consideración es horizontal.

-La fuerza T de tracción que el motor aplica al vehículo, lo acelera (principio de masa de la mecánica clásica) hasta que alcanza la velocidad que el conductor desea y la potencia máxima del motor permite. En ese momento el conductor reduce la presión que su pie ejerce sobre el pedal acelerador, que controla la entrada de combustible al motor, causando de esa manera una reducción de su potencia para mantener así una velocidad constante en vez de seguir acelerando. La potencia del motor durante la aceleración va en gran parte incrementando la energía cinética (o sea de movimiento) del vehículo. En el punto b siguiente se aclara el significado de la palabra potencia.

b. *Vehículo a velocidad constante.*

-La fuerza de tracción T que ahora el motor aplica a las ruedas, impulsa al vehículo a una velocidad constante -referida a la calle o carretera- que llamaremos velocidad de crucero. Ahora la *potencia del motor, definida como la energía entregada en cada segundo de tiempo* desde su eje hacia las ruedas de tracción, se emplea mayormente en vencer los diversos rozamientos que aparecen en todo movimiento físico. La potencia se puede expresar en cualquiera de las tres unidades siguientes: la inglesa Horse Power (HP), casi equivalente a la francesa Cavallo de Vapor (CV), o bien modernamente el KiloWatt (KW). Los rozamientos son los propios del vehículo (en la caja de cambio, en los cojinetes o rodamientos de los ejes de las ruedas, los neumáticos que se deforman, etc) mas la resistencia que el aire opone a su movimiento, resistencia que aumenta mucho con la velocidad, aproximadamente con el cuadrado de ella. A la resultante de esas fuerzas la llamamos R , y está aplicada al vehículo en sentido contrario al movimiento, es decir opuesta a T , y actúa como un freno sobre el vehículo. Como lo establece el principio de inercia de la mecánica clásica, para que la velocidad pueda ser constante, la suma (vectorial) de esas fuerzas debe ser nula. Esto exige que la fuerza de tracción T que el motor aplica al vehículo hacia delante sea de valor igual a la fuerza resistente R dirigida en sentido contrario al movimiento.

-En una pequeña proporción, la potencia del motor también se aplica en mover un pequeño generador para la producción de energía eléctrica, la que se usa para alimentar diversos equipos: el acondicionador de aire, las luces de los faros de posición y de iluminación interior, en equipos de sonido como radios, pasa casetes, bocina, etc., y también para cargar la batería eléctrica. La carga de la batería permitirá la operación durante un corto tiempo de los elementos mencionados cuando el motor haya sido detenido y, sobre todo, poder arrancar el motor nuevamente.

c. *Vehículo reduciendo su velocidad, o sea frenando.*

-Cuando el conductor desacelera el motor -es decir, reduce su potencia disminuyendo la cantidad de combustible que le entra- la velocidad del vehículo disminuye porque la fuerza de

tracción T se va haciendo menor que la fuerza R de las resistencias. La disminución de velocidad es mayor aún si el conductor aplica los frenos.

-De esta manera la energía cinética del vehículo, que es una función de la velocidad, va disminuyendo hasta que aquél se detiene, momento en que dicha energía es nula.

Es importante preguntarse adónde fue la energía cinética del vehículo.

El destino final de todas las energías puestas en juego en el proceso descrito, como en muchos otros que ocurren a nuestro alrededor aquí en la Tierra como en el resto del Cosmos, es el de transformarse en energía térmica (calor).

Si en vez de desplazarse sobre un camino horizontal el auto subiera un camino con una pendiente pronunciada, entonces quizás en su mayor parte la energía del motor se emplearía en aumentar lo que se llama energía mecánica potencial del vehículo. La energía mecánica potencial de un cuerpo es en este caso aquella que le puede ser restituida cuando el cuerpo desciende de nivel, es decir baja en el campo gravitatorio terrestre. Cuando esto ocurre, y si no hubiera fuerza alguna que se oponga (es decir, no hubiera ni resistencias propias ni resistencia aerodinámica), el auto iría paulatinamente convirtiendo su energía potencial gravitatoria en energía cinética, lo que significa que su velocidad aumentaría. En el caso real de un automotor descendiendo por un camino en pendiente, no es por lo tanto necesario apretar el acelerador para mantener la marcha, porque aquél baja por sí mismo al convertir su energía potencial ganada cuando subía, en energía cinética, excepto aquella que se consume en los rozamientos (fricción en el motor si está conectado a las ruedas de tracción, caja de cambios, transmisión, ruedas y fricción con el aire). Si el conductor desconecta el motor de las ruedas de tracción poniendo la caja de cambios en punto muerto y no aplica los frenos, es decir si el vehículo no tiene aplicada la resistencia del motor que lo impida, su velocidad se irá incrementando. Esta es la causa de muchos graves accidentes, porque la velocidad puede así llegar a valores en los que el automotor se torna incontrolable. (En septiembre del 2002 en Argentina, un ómnibus puesto en esa situación por falla de los frenos, cayó a un barranco provocando la muerte de unos sesenta pasajeros). Conclusión: descendiendo una cuesta con un vehículo automotor, no deben ponerse los cambios en punto muerto; se usará la posición de la caja de cambio que brinde un descenso del vehículo a la velocidad que permita mantenerlo siempre bajo control.

Un análisis similar al de un automotor ascendiendo por una cuesta, igualmente interesante por lo complejo, podría hacerse para un avión. Es un desafío al lector.

5.5 Cómo con energías cinética, térmica y potencial, se desploman dos maravillas. La criminal destrucción de las dos torres del Centro Comercial y Financiero de Nueva York, el 11 de septiembre del 2001, se presta a una interpretación energética que ayuda a entender mejor cómo se produjo esta increíble catástrofe. La explicación vale para ambas torres, ya que el proceso fue casi idéntico. Veamos:

a) Una pesada aeronave de transporte comercial de pasajeros, con muchos pasajeros a bordo, según el gobierno norteamericano secuestrada y dirigida por pilotos suicidas del terrorismo internacional, se estrella a gran velocidad (gran energía cinética) contra la torre, dañando en el tremendo impacto muchos de sus elementos estructurales, es decir, de sostén de la torre, y reduciendo además a pedazos la aeronave (conversión de energía cinética en trabajo de deformación mecánica). Pero el choque no fue la causa exclusiva de la caída, porque de haberlo sido la torre hubiera colapsado allí mismo, cosa que no ocurrió.

b) La gran cantidad de combustible (decenas de toneladas de hidrocarburo del tipo kerosene de uso aeronáutico) que transportaba el avión en sus tanques, al despedazarse contra la estructura y producirse chispas y fuertes calentamientos de las piezas que se destruían, estalla e inicia un gran incendio en varios pisos del edificio (transformación de la energía química del combustible en calor).

c) Bajo la acción del fuego con altas temperaturas, el acero de la estructura que sostiene el edificio pierde rápidamente su resistencia, es decir, "se ablanda", como le ocurre a todo metal que se calienta a muchos centenares de grados Celsius, en un fenómeno termomecánico de naturaleza cristalográfica. (Experimento demostrativo: ponga la zona media de un alambre de unos cuarenta cm de largo en la parte azul de la llama de una hornalla de gas de su cocina,

y vaya observando como su resistencia a doblarse va disminuyendo a medida que se enrojece.)

d) Llega el momento en que los elementos estructurales de la torre en la zona sometida al fuego, ya muy debilitada su resistencia, no pueden seguir soportando el enorme peso de los pisos situados por arriba, se deforman y se inicia entonces el aplastamiento de esa zona. Ahora la energía potencial de las decenas de miles de toneladas de los pisos superiores, vencido su soporte inferior, se va transformando en energía cinética dirigida verticalmente hacia el suelo.

e) Por efecto de esa transformación en energía cinética de la energía potencial gravitatoria de la masa de esos pisos superiores, se va progresivamente venciendo por impacto destructivo la resistencia de la estructura de los pisos inferiores, todavía intactos, que se aplastan uno a uno hasta que los escombros son detenidos por el suelo.

Así ocurrió esta terrible tragedia.

(La difundida creencia de que las torres colapsaron desde sus bases por la acción de poderosas cargas explosivas colocadas allí por terroristas, es inaceptable porque niega la realidad de lo ocurrido según muestran de manera irrefutable los numerosos testimonios registrados gráficamente, y muchos otros orales dados por especialistas de estructuras que presenciaron la caída y analizaron luego detenidamente el hecho. Los improvisados opinantes confunden éste con el atentado ocurrido años antes y que sí fue realizado con una poderosa carga de explosivos colocada en el subsuelo de una de las torres, sin provocar su caída. Otra cosa hubiera ocurrido si en lugar de explosivos, se hubiera hecho estallar una poderosa bomba incendiaria que se mantuviera ardiendo el tiempo necesario para ablandar los elementos estructurales).

Otro proceso muy ilustrativo desde el punto de vista energético, tiene lugar en las llamadas centrales termoeléctricas, que se verá a continuación.

5.6 Centrales termoeléctricas. Son las plantas donde se genera electricidad sobre la base de quemar combustibles, de allí su nombre. En la mayor parte de ellas se convierte la energía térmica de los combustibles en vapor de agua, el que a continuación cede parte de su energía haciendo rotar una turbina que a su vez arrastra el generador eléctrico. En otras centrales, la minoría, no hay una caldera que produce vapor, sino que el combustible arde directamente en la cámara de combustión de una turbina, cuyos gases pasan después al rotor de la misma, el que así rota arrastrando el generador eléctrico. En los últimos tiempos y en proporción creciente, se combina una central con turbina de gas con otra de vapor, utilizando para la producción de éste la energía de los gases que salen de la turbina de gas, que de otra manera se perderían en la atmósfera, con lo cual se logran rendimientos muy altos. En términos termodinámicos (termodinámica: ciencia que estudia las relaciones entre el calor y otras formas de energía), el vapor describe en las turbinas de vapor un ciclo que es distinto al de los gases de una turbina de gas. El agua de una central con turbina de vapor, sea como vapor generado en la caldera o como agua casi fría que sale del condensador, recorre un circuito cerrado. En cambio en una central de turbina de gas, entra aire atmosférico que con su oxígeno hace arder el combustible que se mezcla con él en la cámara de combustión, lo que termina dando gases aún muy calientes que son despedidos a la atmósfera. Cuando se combinan, como se acaba de decir, una turbina de gas con otra de vapor, la central termoeléctrica resultante se llama *central de ciclo combinado*, con rendimiento superior a cualquiera de sus dos componentes.

A continuación se describen las centrales termoeléctricas de vapor, que son las que alcanzan las mayores potencias (Ravenswood, en Nueva York, un millón de KW con una turbina y dos generadores, puesta en servicio alrededor del año 1.960). En este tipo de plantas los combustibles son quemados en una atmósfera de aire conteniendo el oxígeno necesario, produciendo de esta manera gases de volumen mucho mayor que el combustible utilizado y a muy altas temperaturas, es decir, con mucha energía térmica por unidad de masa. Los combustibles utilizados pueden ser hidrocarburos tales como el fueloil y el gas del petróleo, o bien carbón de hulla pulverizado. La combustión es en el fondo un fenómeno eléctrico, porque consiste en el desplazamiento de electrones en el interior de los átomos, lo que conduce a la

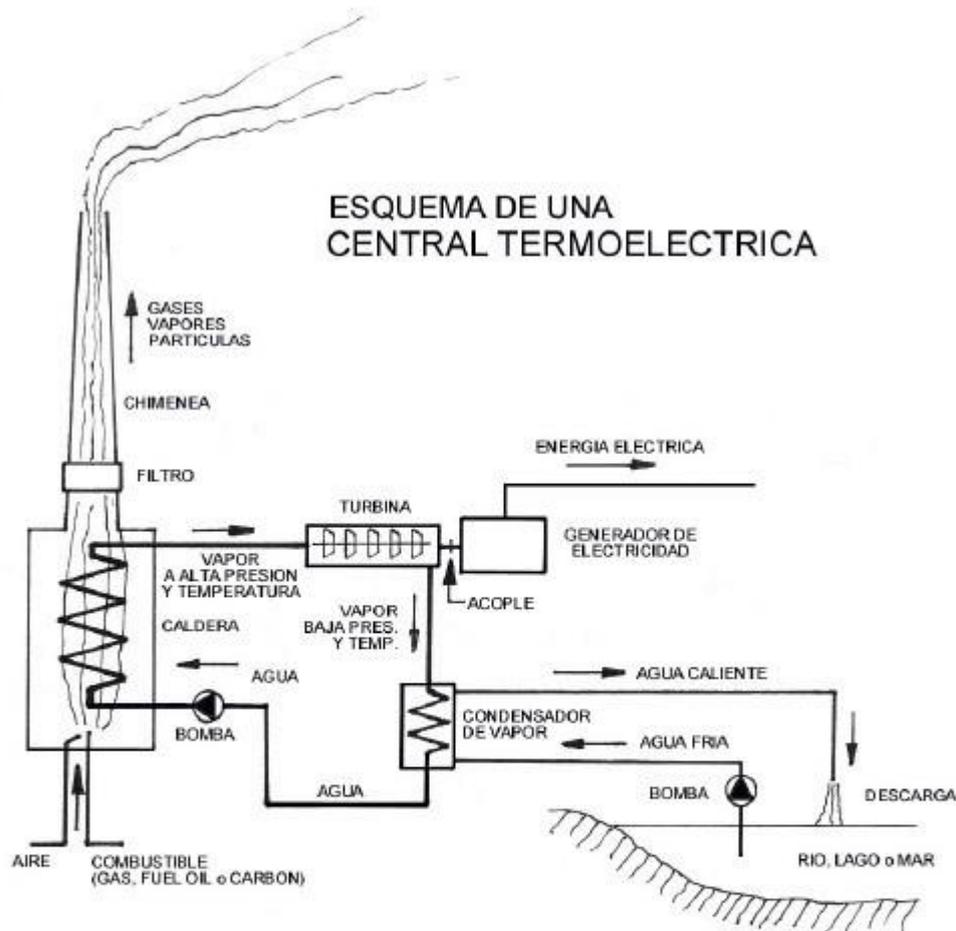
combinación química con el oxígeno de los elementos participantes en la reacción, que son los principales constituyentes de los hidrocarburos, el carbono y el hidrógeno, con desprendimiento de mucho calor y la formación de dióxido de carbono y agua como subproductos. Esos gases toman luego contacto con cañerías por donde circula agua, que de ese modo se evapora a altas temperatura y presión, por ejemplo 500 °Celsius y centenares de kg/cm² de presión. El aparato donde tiene lugar este proceso se llama caldera. La energía térmica de ese vapor, en un flujo continuo a gran velocidad, es aplicada a una turbina en donde se transforma en energía mecánica de rotación, la que a su vez se transfiere al eje del generador eléctrico acoplado a ella. En éste, la energía mecánica se transforma en energía eléctrica a través de un proceso electromagnético, que ocurre cuando elementos conductores se desplazan en fuertes campos magnéticos.

El *segundo principio de la termodinámica* demuestra que el rendimiento teórico máximo que puede alcanzar una máquina térmica -es decir el cociente entre la energía mecánica que ella produce en un ciclo térmico y la energía térmica que se le suministra para ello- es igual a la diferencia de temperaturas entre la fuente caliente y la fuente fría entre las cuales se desplaza el fluido portante de la energía (por ejemplo el agua/vapor), dividida esa diferencia por la temperatura de la fuente caliente desde la cual se transvasa a la fuente fría dicho fluido. Si llamamos T_1 a la temperatura de la fuente caliente y T_2 a la temperatura de la fuente fría hacia la que circula el fluido que transporta el calor que mueve a la máquina, lo que se dijo arriba en palabras resulta ser en símbolos que el rendimiento = $(T_1 - T_2) / T_1$. Las temperaturas son temperaturas absolutas, es decir medidas desde el cero absoluto, que se halla en una escala termométrica a -273°C, es decir a 273°C bajo el cero de la escala Celsius. Al analizar esa simple fórmula, se ve que cuanto más alta sea la temperatura T_1 de la fuente caliente que cede el calor que luego se convierte en energía en la máquina térmica, para una dada temperatura T_2 de la fuente fría, *mayor será el rendimiento de la máquina*. Esto es muy importante, dado que aplicándolo se logra la mayor cantidad de energía con la misma cantidad de combustible. De aquí que en las calderas se caliente el vapor a las más altas temperaturas que la tecnología de los materiales posibilita (en las grandes unidades hasta más de 500°C).

La energía eléctrica ha sido y es hoy mismo la base del desarrollo tecnológico de nuestra civilización, en parte debido a que es la única forma limpia de energía que se puede transformar en casi todas las otras, para motorizar y controlar los procesos industriales, suministrar transportes horizontal (ferrocarriles) y vertical (ascensores, montacargas), iluminación, calefacción, acondicionamiento de aire, comunicaciones a través de la radiotelefonía, televisión y teléfono por cable, radio o con satélites, para casi todos los aparatos de uso médico, para operar los equipos de computación, para comandar naves marítimas, aéreas o espaciales, etc. Inclusive los automotores comunes, los automóviles, no podrían operar si fueran deprivados de todas las ayudas eléctricas de que están dotados.

Es conveniente hacer notar que la energía eléctrica se puede generar masivamente de múltiples maneras, no sólo vía la quema de combustibles hidrocarbureados. Esos métodos alternativos son las centrales hidroeléctricas, aprovechando la energía gravitatoria de la caída del agua, y las centrales nucleares, utilizando la energía térmica de la fisión del elemento uranio. En mucha menor proporción, hoy es también posible generar energía eléctrica por otros procesos, por ejemplo con la energía de los vientos, la radiación solar, etc., que contaminan mucho menos el medio ambiente, pero a un costo todavía mucho mayor y sin continuidad de suministro, porque el viento no sopla siempre y el sol alumbró sólo parte de las 24 horas del día.

Es importante reiterar que si se analizaran detenidamente esos procesos, se comprobaría que en general cada forma de energía que se transforma en otra sufre en el proceso una pérdida de cantidad, que casi siempre termina siendo calor. Esta imposibilidad de transformar toda la energía inicial en alguna otra forma de energía final, no importa cual sea el proceso seguido por el agente portante de la energía, ni de que naturaleza física sea éste, es otra de las afirmaciones contenidas en el segundo principio de la termodinámica.



OPERACION:

- EL COMBUSTIBLE SE INYECTA A LA CALDERA JUNTO CON AIRE Y ALLI ARDE PRODUCIENDO CALOR (ENERGIA QUIMICA QUE PASA A CALOR).
 - ESE CALOR EVAPORA EL AGUA QUE ES FORZADA POR UNA BOMBA A CIRCULAR POR LOS TUBOS DE LA CALDERA.
 - EL VAPOR PASA POR LA TURBINA, HACIENDOLA ROTAR (LA ENERGIA TERMOMECANICA DEL VAPOR PRODUCE ENERGIA MECANICA).
 - LA TURBINA HACE GIRAR AL GENERADOR (LA ENERGIA MECANICA SE TRANSFORMA EN ELECTRICA).
 - EL VAPOR QUE SALE DE LA TURBINA ES ENFRIADO Y TRANSFORMADO ASI EN AGUA EN EL CONDENSADOR. LA QUE LUEGO ES REINTRODUCIDA EN LA CALDERA.
- PERDIDAS. EN CADA TRANSFORMACION SE PIERDE PARTE DE LA ENERGIA. AUN EN CENTRALES DE GRAN COMPLEJIDAD Y ALTO RENDIMIENTO, SOLO LA MITAD DE LA ENERGIA CALORICA DEL COMBUSTIBLE APARECE FINALMENTE COMO ENERGIA ELECTRICA.

Figura 5. – Central Termoeléctrica

5.7 Qué es la energía térmica o calor. La respuesta a esta pregunta no es tan simple como para poderla desarrollar en este trabajo, pero se tratará de dar una idea básica del tema, en consideración a que gran parte de la energía que el hombre usa se presenta en esta forma o se obtiene por su intermedio. La dificultad del concepto explica que recién a mediados del siglo XIX se pudiera saber qué es el calor.

Los átomos y moléculas que constituyen todos los cuerpos, sean ellos sólidos, líquidos o gaseosos, no se hallan nunca en reposo, es decir inmóviles. En los sólidos, formados por estructuras con átomos o moléculas fijas, éstos se hallan en continua oscilación o vibración alrededor de una posición media. En los gases y los líquidos, constituidos en cambio por moléculas libres o no vinculadas, ellas se desplazan continuamente a través del volumen que los contiene, chocando frecuentemente unas con otras y contra las paredes de los recipientes que las contienen. A temperaturas no muy altas, esos choques no alteran la estructura de las moléculas. La velocidad de cada molécula cambia de choque en choque, a la vez de magnitud y de dirección y haciendo cambiar las velocidades de todas aquellas que embiste. Aunque

cada una tenga su propia velocidad en cada instante, distinta de la de todas las demás, es posible hablar de una velocidad media de todas ellas. En el aire que respiramos esa velocidad media es del orden de varios centenares de metros por cada segundo!

¿Es constante esa velocidad media? Sí, si la temperatura de la sustancia medida con un termómetro se mantiene constante. Y ¿qué pasa si la temperatura crece o decrece? Si la temperatura crece, significa que esa velocidad aumenta, si decrece, que disminuye. La temperatura de un cuerpo dada por un termómetro, cualquiera sea el estado de dicho cuerpo (sólido, líquido o gaseoso), está por lo tanto definida por la velocidad media de sus átomos o moléculas.

Entonces, la energía calórica que posee un cuerpo cualquiera, para decirlo brevemente, consiste en la suma de las energías cinéticas de todos los átomos –a veces reunidos en moléculas- que lo integran. Decir entonces que la temperatura de un cuerpo se eleva, equivale a decir que la velocidad de desplazamiento o de vibración de sus moléculas o átomos está aumentando. Y esto significa también que la energía calórica o térmica contenida en el cuerpo aumenta. Para que esto ocurra, hay que entregarle al cuerpo energía desde el exterior. Cuando la temperatura del cuerpo disminuye, es porque él está entregando energía al medio exterior.

La excepción a esta regla son los combustibles y los explosivos, que se transforman químicamente y aumentan mucho sus temperaturas sin necesidad de tomar calor desde el exterior, o tomando cantidades insignificantes para iniciar su combustión. Pero atención. Para todas las sustancias hay ciertas temperaturas a las cuales una adición de calor *no* eleva la temperatura, sino que produce un cambio de su estado. Por ejemplo, el agua cuando pasa de hielo (sólido) a líquido a 0°C, y también cuando pasa de líquido hirviendo a vapor a 100°C en una atmósfera a presión normal. En los fenómenos inversos, es decir cuando el vapor se condensa en líquido o éste se solidifica, el cuerpo cede calor. Ambos procesos juegan un rol esencial en la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos en la troposfera terrestre.

Cuando la temperatura de un cuerpo se eleva a niveles muy altos, es decir cuando la velocidad media crece a grandes valores y por lo tanto las colisiones son más frecuentes y más violentas, se llega a un punto en el que los electrones se van desprendiendo de los átomos, y a temperaturas extremas hasta el núcleo de los átomos puede fragmentarse, llegando inclusive a formar nuevos elementos, como ocurre en los centros de las estrellas. Los elementos que están en la tabla de Mendeleiev, es decir todos los que existen en la naturaleza terrestre, se formaron de esa manera; muchos de ellos, los de peso atómico alto, se formaron en realidad cuando ciertos tipos de estrella estallaban, arrojando gran parte de su materia al espacio circundante.

A este concepto de la energía térmica contenida en un cuerpo, como la suma de las energías cinéticas de todos los átomos o moléculas que lo componen, hay que agregarle otro, que es consecuencia del anterior. Si el cuerpo, tomemos por caso un gas o un vapor, se halla encerrado en un recinto de volumen fijo, cuando su temperatura aumenta la presión interna contra las paredes del recipiente debe necesariamente aumentar, si la temperatura disminuye la presión debe disminuir, dado que la presión sobre una superficie está ligada a la velocidad y la frecuencia de los choques de las partículas encerradas en el recipiente, magnitudes ambas que crecen con la temperatura. Ahora bien, si se encierran en una cámara dos sustancias que pueden producir una combustión (por ejemplo un combustible y aire, que contiene oxígeno que mantiene la combustión), al ocurrir ésta la temperatura aumenta centenares de grados Celsius, lo que según acabamos de decir produce también un súbito incremento de la presión. Esta es la energía que impulsa a los motores de combustión interna y a las turbinas de gas que mueven a vehículos terrestres, acuáticos o aéreos. La energía del vapor de agua que impulsa las turbinas de vapor de las centrales termoeléctricas, proviene también de la elevada temperatura y presión de aquél, estado obtenido mediante la transferencia de energía calórica de un combustible que arde en la caldera, al agua que circula por ella. El fenómeno de la combustión, como cualquier fenómeno químico -entre todos los fenómenos que ocurren en el ámbito atómico- se explica a través de la mecánica cuántica, tema que por lo complicado queda fuera de este texto de divulgación en un nivel básico.

5.8 Conservación de la energía.

En el proceso de combustión analizado anteriormente, así como en otros de distinta naturaleza que se han descrito con anterioridad, si el sistema donde ocurren cambios de una energía en otra está aislado del espacio que lo rodea, podría verificarse que en cualquier momento la suma de todas las energías presentes equivale a la suma de las energías iniciales de todo tipo que el sistema poseía. Es decir, que a través de toda clase de transformaciones energéticas, la cantidad total de energía se mantiene constante. (Se dice que un sistema es aislado cuando no hay intercambio alguno de energía entre él y el espacio que lo rodea, o en otras palabras, no puede recibir energía del exterior ni darla a él).

5.9 Unidades de energía.

El estudio de la energía en su faz teórica y aplicada requiere, como en el caso del análisis de cualquier otro agente natural, la creación y uso matemático de lo que se llama unidades. Como ocurre siempre en ciencia y tecnología, el valor o tamaño de cualquier magnitud debe expresarse comparado con un valor base, que llamamos unidad de esa magnitud. Por ejemplo, para las longitudes, las áreas y los volúmenes usamos el metro (abreviado m), en sus formas lineal, cuadrática o cúbica, es decir con exponentes uno, dos o tres, (m , m^2 , m^3), respectivamente. Para el peso el kilogramo (Kg). Etc.

Unidades de cantidad de energía. Para poder entonces entender los fenómenos energéticos, hacer cálculos, proyectar máquinas, cobrar facturas, etc., los distintos especialistas científicos o técnicos que trabajan con la energía, tienen que usar unidades para expresar la cantidad de cada una de esas formas o clases de energías. De la misma manera que distintas magnitudes se expresan por litro (abreviado por la letra l de litro), por metro (m) o por kilogramo (Kg), las diversas formas de energía se expresan en distintas unidades. La energía mecánica (la que tienen los cuerpos en movimiento o bien la potencial) se mide en kilográmetros, que se abrevia Kgm. La energía térmica (el calor) se expresa en calorías, que se abrevia cal, o en miles de calorías o Kilocaloría, que se abrevia Kcal o Cal. Los países anglosajones utilizan aún la Btu (British thermal unit). La energía eléctrica se expresa en Watts (o Vatios) hora, abreviado Wh, o en mil veces esa cantidad, el Kilovatio-hora, abreviado KWh. La facturación de la energía eléctrica que nos suministran las empresas del servicio eléctrico se expresa en \$ a pagar por tantos kWh consumidos. Pero cuando se expresan grandes cantidades de energía, por ejemplo la consumida en un gran establecimiento fabril, se usa el Mega Watt hora, abreviado MWh, que son 1.000 KWh. Para magnitudes aún mayores, como la energía generada en un país, se usa una unidad 1.000 veces mayor que el MWh, que es el Giga Watt hora, abreviado GWh.

Unidades de intensidad del flujo de la energía. Acabamos de ver las unidades para medir la cantidad de energía. Ahora hablaremos de otro concepto: la intensidad con la que fluye la energía, cualquier clase de energía. Piense en este simple experimento: se abre una canilla de agua y se la deja en una cierta posición; se pone de pronto debajo del agua que cae un recipiente cuya capacidad se conoce, por ejemplo un balde de 10 litros, contando desde allí con un reloj el tiempo que tarda el balde en llenarse. Supongamos que ese tiempo es de 20 segundos. Se define como caudal o intensidad del flujo de agua que sale de la canilla al cociente entre el volumen del líquido que salió y el tiempo que ello tardó: 10 litros/20 segundos = 0,5 litro/segundo. Aplicando el mismo concepto al flujo de la energía, resulta otro conjunto de unidades para expresar su intensidad:

	Para el flujo de energía mecánica	Kgm/seg
	Para el flujo de calor	cal/seg. o Kcal/seg o Cal/seg
	Para el flujo de electricidad	Amper o Amperio (abreviado A)
(KV)	Para el potencial eléctrico (no es un flujo, pero interviene en la definición del W)	Volt o Voltio (V) o Kilo Volt o Kilovoltio
(KW)	Para el flujo de energía eléctrica o potencia	Watt o Vatio (W) o Kilowatt o Kilovatio

La primera unidad, Kgm/seg, sirve para expresar la *potencia mecánica* de un fenómeno en el que una o varias fuerzas se desplazan en el espacio, por lo tanto produciendo un trabajo. Recordar que la potencia mecánica es el trabajo realizado en la unidad de tiempo.

Para las unidades eléctricas de potencia, además del W y el KW, se usan las correspondientes a las mencionadas antes: MW (=1.000 KW) y GW (=1.000MW) .

Hay muchas otras unidades utilizadas en cálculos relacionados con la energía, pero las dadas son las principales a los efectos de este trabajo.

Para las corrientes eléctricas alternas, es decir, aquéllas que cambian de sentido una cantidad de veces cada segundo, la unidad frecuencia de esos cambios es el Hertz, abreviado Hz. La misma unidad se usa para indicar las frecuencias de los campos electromagnéticos. En las altas frecuencias como las que se usan en la radiotelefonía y la televisión, dado que ellas son muy altas, para facilitar la escritura se usan los múltiplos del Hz: el KiloHz (KHz) = 1.000 Hz y el MegaHz (MHz) = 1.000.000 Hz. Por dar un ejemplo, las estaciones de radiotelefonía en la banda de Frecuencia Modulada (FM) dan su posición en el dial, para poder sintonizarlas, en MHz.

Es importante reiterar aquí para consolidar lo anterior, que delicadas experiencias de laboratorios científicos, han determinado la equivalencia constante de la cantidad de una forma de energía en una cantidad de otra forma de energía que deriva de la primera. Lo mismo con las intensidades de los flujos de energía. Por dar sólo un ejemplo ilustrativo, si una cierta cantidad de energía eléctrica (expresada en W) se transforma en una cierta cantidad de calor (expresada en calorías), tal como ocurre en una estufa, una cantidad de energía eléctrica mitad de aquélla producirá la mitad de calor, una cantidad doble producirá el doble, etc. Por esta causa es que existe para cada unidad de una cierta clase de energía, la equivalencia de ella con cada una de todas las demás unidades de todas las otras formas de energía. Las equivalencias se dan tanto para las cantidades como para las intensidades de flujo de cada una.

Como ejemplo daremos un caso clásico: la equivalencia entre una unidad de calor y la cantidad de trabajo mecánico para producirla. Su valor es de 427 Kgm = 1 Kcal. Los estudios de Física que el lector ha debido realizar para estar en condiciones de poder asimilar el presente trabajo, le permitirán rever otras equivalencias de unidades de energía en los libros de texto de esa asignatura.

Reiterando en otras palabras lo ya enunciado en la sección 5.8 sobre la conservación de la energía en sistemas aislados, porque es fundamental para el seguimiento de los fenómenos energéticos, puede decirse que la energía no se pierde, se transforma de una clase en otra u otras, y de tal manera que la suma de las energías que resultaron en el proceso es siempre igual a la suma de las energías iniciales.

En el caso de la estufa eléctrica mencionado, la cantidad de calor es siempre proporcional a la energía eléctrica gastada, y por esta razón resultan ridículas las ofertas de sofisticadas estufas eléctricas cuyos vendedores afirman que calientan mucho más con el mismo consumo eléctrico. La diferencia que puede haber entre un modelo y otro de estufas de igual consumo, es la *manera* de distribuir la energía calórica generada, no su cantidad.

Advertencia. Si bien muchas formas de energía son transformables en otras, no siempre se cumple el principio de la equivalencia entre la cantidad de energía inicial de un tipo y la final de otro tipo. En la conversión de energía mecánica en calor, de energía eléctrica en calor, y otros fenómenos, la equivalencia se cumple. Pero, como se verá enseguida es imposible, por ejemplo, transformar una determinada cantidad de calorías de energía térmica en una cantidad de KWh de energía eléctrica, pretendiendo que los KWh obtenidos sean exactamente equivalentes a las calorías consumidas. Cuando se trata de convertir energía térmica en otra forma de energía, la equivalencia no se da en el proceso.

Para entender aún mejor el enunciado sobre la conservación de la energía, según fue presentado en las secciones 5.8 y 5.9, pregúntémonos ahora

5.10 Qué pasa cuando una forma de energía se transforma en otra.

Tomemos una vez más el caso de una central eléctrica del tipo *térmica a vapor*, donde una caldera transforma la energía química interna del combustible en calor al arder en el hogar de aquella, el que convierte el agua líquida en vapor a altas temperatura y presión, el que a su vez impulsa una turbina, que finalmente hace rotar un generador que produce electricidad. Es interesante preguntarse si *toda* la energía térmica del combustible quemado se transfirió al vapor. Y si luego toda la energía de éste se transformó en energía mecánica en la turbina. Y finalmente, si toda la energía mecánica de la turbina se transformó en energía eléctrica a la salida del generador. En otras palabras, estamos preguntándonos si toda la energía térmica del combustible que se quemó en la caldera, el primer eslabón de la cadena de transformaciones, se convirtió finalmente en energía eléctrica que sale del generador. Sería muy bueno que la respuesta fuera que sí, porque ello significaría que para generar una cierta cantidad de energía eléctrica se necesitaría no más que una cantidad de combustible cuya energía fuera equivalente. Pero los fenómenos naturales descriptos hacen que eso sea imposible.

La experiencia muestra que una forma de energía no se transforma totalmente en otra forma de energía, excepto cuando la energía original se transforma únicamente en calor.

Si en un período de tiempo determinado, por ejemplo una hora, se mide la cantidad de energía térmica del combustible quemado en la caldera de la central y de cada una de las energías intermedias hasta llegar a la energía eléctrica, se comprobará que en el camino, en cada transformación se ha perdido parte de la energía, que en general se ha transformado en calor. En otras palabras, los KWh de la electricidad generada en un cierto tiempo no son equivalentes a las Kcal del combustible quemado en el mismo lapso en la caldera, no importa de qué tipo sean los componentes del conjunto, y por perfectos que sean en su operación. La energía eléctrica obtenida será siempre inferior a la energía térmica usada. En el mejor de los casos, en una central termoeléctrica moderna, sólo la mitad de la energía del combustible se transforma en energía eléctrica, el resto pasa en forma de calor al ambiente. Esto ocurre a pesar de que en las instalaciones termomecánicas de las centrales hay incorporados varios mecanismos de recuperación de calor, que sin ellos se perdería hacia el ambiente. En los motores de combustión interna de tipo alternativo (con pistones), como los que se usan en los automotores, barcos y aviones pequeños, una proporción aún menor de la energía del combustible utilizado se transforma en energía mecánica que impulsa al vehículo. Lo mismo ocurre con las turbinas de gas que impulsan los aviones a reacción, que también son usadas para mover directamente generadores eléctricos en muchas usinas.

Es oportuno recordar que, tal como se define para muchas otras máquinas, se llama *rendimiento* de una central termoeléctrica al cociente entre el equivalente térmico de la energía eléctrica entregada por su generador y la energía térmica del combustible quemado, ambos en un cierto lapso y a cierto régimen de generación. Según esta definición y lo que se dijo en el párrafo anterior, las centrales eléctricas modernas llegan a tener un rendimiento total próximo a 0,6 cuando operan al máximo nivel de generación para el que fueron diseñadas. Expresado en por ciento (multiplicando 0,6 por 100), es el 60%. En cambio, en una estufa eléctrica, que convierte toda la energía eléctrica en calor, el rendimiento es del 100%. En todo sistema energético -salvo cuando la energía primaria (combustible, electricidad, etc) se convierte en calor-, el rendimiento varía notablemente con la carga, es decir, con la cantidad de energía útil que entrega. La llamada *marcha económica* de un automotor, de una aeronave o de un barco, es simplemente el régimen de operación (velocidad) al cual el rendimiento es máximo. En el caso de las aeronaves, para determinada carga total, a cada altura de vuelo le corresponde una cierta velocidad de crucero más económica.

Hay que recalcar: *Las máquinas que convierten calor en trabajo o en energía eléctrica –que son las que reúnen la mayor potencia conjunta y por lo tanto son las más importantes- no pueden tener 100% de rendimiento. En los sistemas donde el trabajo o la energía eléctrica se convierten en calor útil, sí.*

A continuación se da un interesante cuadro en donde se muestra con una barra horizontal, para cada uno de los aparatos indicados verticalmente a la izquierda, las transformaciones energéticas que en ellos ocurren.

CONVERTIDORES DE ENERGIA
Ordenados en rendimientos decrecientes

	ELÉCTRICA A TÉRMICA	QUÍMICA A TÉRMICA	TÉRMICA A MECÁNICA	MECÁNICA A ELÉCTRICA	ELÉCTRICA A MECÁNICA	ELÉCTRICA A RADIANTE	ELÉCTRICA A QUÍMICA	QUÍMICA A ELÉCTRICA	RADIANTE A ELÉCTRICA	TÉRMICA A CINÉTICA
ESTUFA ELECTRICA	■									
GENERADOR ELÉCTRICO				■						
MOTOR ELÉCTRICO GRANDE				■	■					
BATERÍA DE PILAS SECAS								■		
CALDERA DE VAPOR GRANDE		■								
ESTUFA DOMÉSTICA DE GAS		■								
BATERÍA DE ACUMULADORES								■		
MISIL COMBUSTIBLE LÍQUIDO		■					■			
TURBINA DE VAPOR		■	■							■
GENTRAL DE VAPOR		■	■	■						
MOTOR DIESEL		■	■							
TURBINA DE AVIACIÓN		■	■							■
TURBINA INDUSTRIAL DE GAS		■	■							
MOTOR DE AUTOMÓVIL		■	■							
LÁMPARA FLUORESCENTE						■				
CÉLULA FOTOVOLTAICA SOLAR								■		
LÁMPARA INCANDESCENTE						■				

Figura 6. – Convertidores de energía.

Como la energía que utilizamos es un bien muy valioso en nuestra civilización –pues toda ella está basada en el uso de distintas fuentes energéticas primarias, la mayoría de las cuales se agotarán con el uso-, y cuesta esfuerzo y dinero el obtenerla, es muy importante reducir al mínimo posible las pérdidas que se producen en los procesos. Científicos y técnicos del mundo trabajan continuamente con toda clase de medios tras ese objetivo. Piénsese en cuánto puede ahorrarse en una central eléctrica que consume anualmente muchos millones de dólares en combustible, si por mejoras técnicas se eleva el rendimiento total en tan solo un 1%. El ahorro de combustible resulta sorprendente si se consideran todas las centrales termoeléctricas del mundo. Y no es menos importante la reducción de contaminación que se lograría, que a su vez puede de alguna forma evaluarse económicamente.

La civilización humana ha evolucionado hasta alcanzar su complejo estilo de vida actual, mediante un uso creciente de las distintas formas de energía. El avance ha sido muy grande en los últimos dos siglos, en cuyo transcurso más y más gente pudo utilizar variadas clases de energía para satisfacer sus necesidades y deseos. (Se usa la palabra *deseo* porque no todo lo que el hombre hace es necesario; en realidad casi todo lo que hace es porque lo quiere hacer, no porque realmente lo necesite. La historia muestra que hubo grandes civilizaciones cuando la ciencia y la tecnología no existían y la energía consumida era casi sólo la muscular animal -del mismo hombre y de los animales que él dedicaba a los trabajos mecánicos-, la de la madera y la del viento).

El aumento del consumo energético no tiene por el momento viso de detenerse, ya que la diferencia entre el consumo por persona en los países del primer mundo y en los de menor nivel económico, es descomunal, y es por lo tanto lógico suponer que la demanda aumentará rápidamente a medida que los desposeídos traten de alcanzar a los ricos. Sería deseable que la brecha se redujera por aumento del consumo en los países donde hoy es muy bajo, con

crecimiento decreciente en los países del primer mundo, porque eso significaría que la humanidad iría en el sentido de alcanzar una más justa distribución de los recursos del planeta sin dañar tanto su naturaleza. Este importante concepto se desarrollará más adelante, en especial en los capítulos 7 y 9.

5.11 Las cuatro fuerzas del universo.

Como se ha visto hasta ahora, los fenómenos energéticos son de muy diversa naturaleza, y en general intervienen varias formas de energía a la vez, con posibles transformaciones de unas en otras, siempre conservando la suma de todas ellas en un momento dado un valor constante. Desde fines del siglo XIX surgían de continuo preguntas difíciles de contestar, como por ejemplo: ¿de dónde vienen las distintas formas de energía que se observan tanto en la Tierra como en el espacio exterior? O en otras palabras, ¿cuáles son los mecanismos íntimos que engendran esas energías? A principios del siglo XX, ante el impresionante desarrollo tecnológico basado en la aplicación de esas formas de energía y los tremendos cambios sociales que ellas desencadenaban, el clamor de los científicos por responder a estas preguntas era muy fuerte.

De la *fuerza de la gravedad* ya había un conocimiento considerable, no de su origen íntimo sino de cómo operaba en sus más diversas manifestaciones, a partir de la ley de la gravitación universal enunciada por Newton en el siglo XVIII. Esta ley y los principios de la mecánica (de inercia, de masa y de acción y reacción) del mismo científico, constituyeron lo que hoy se llama la Mecánica clásica, que fue toda una revolución en el conocimiento humano de la época. La ley de la gravitación universal permite calcular (aún hoy) la fuerza de atracción entre dos masas cualesquiera de materia, en función de sus magnitudes y la distancia que las separa. Pero la Mecánica clásica fue modificada sustancialmente a principios del siglo XX por la Teoría de la relatividad, de Einstein, que relativizó los conceptos de espacio y de tiempo absolutos (es decir idénticos en cualquier circunstancia, como se desprendía de las leyes de Newton), así como también reemplazó la atracción de las masas por la curvatura que estas imprimen al espacio. Pero aún hoy no hay una total definición acordada entre los científicos acerca de la naturaleza íntima de la fuerza gravitatoria.

De las *fuerzas eléctrica y magnética* se tenían desde mediados del siglo XIX las ecuaciones del campo electromagnético descubiertas por Maxwell, avance maravilloso para la época. Pero en el imparable desarrollo de la investigación científica surgían con frecuencia fenómenos que no se sabía explicar con las teorías conocidas, como por ejemplo el origen íntimo de las radiaciones electromagnéticas que emitían los cuerpos y la ley que las regía, la causa de la enorme energía radiada por las estrellas, la radiactividad, el efecto fotoeléctrico, las combinaciones químicas y otros muchos fenómenos que tenían lugar en los átomos. Con la enunciación de Planck en el último año del siglo XIX (1.900) de que la energía radiante –la luz por ejemplo- no fluía como un continuo, sino que era emitida por las fuentes y se propagaba por el espacio en la forma de “paquetes” o cuantos, se abrió un inmenso campo de investigación que condujo al conocimiento de los complejos fenómenos que tienen lugar en el dominio de las partículas que integran el átomo, fenómenos para nada familiares a los investigadores que los iban descubriendo. Así se fue desarrollando la Teoría de los cuantos (también llamada Teoría cuántica o Teoría de la mecánica cuántica o simplemente Mecánica cuántica). Ella es por lejos la más compleja teoría jamás elaborada por el hombre en toda su historia, y sus conclusiones en muchos casos contradicen nuestro sentido común, desarrollado en la contemplación de los fenómenos que ocurren en los amplios espacios en los que transcurren nuestras vidas en el planeta Tierra.,

La principal víctima de la mecánica cuántica fue el concepto de determinismo que había sentado la mecánica clásica de Newton. En ella se sostenía que dado un conjunto de cuerpos, si en un cierto instante se determinaban con total exactitud sus velocidades y sus posiciones con respecto a un sistema de coordenadas de referencia, esas magnitudes podían calcularse para cualquier momento anterior o posterior a ese instante (como de hecho lo hacían y lo siguen haciendo hoy mismo los astrónomos, entre otros científicos, y los ingenieros, cuando trabajan con cuerpos de masa considerable, es decir formados por muchos átomos). El descubrimiento del planeta Neptuno en 1.846 por rigurosa aplicación de la mecánica newtoniana en la forma de las leyes de Kepler, que rigen los movimientos de todos los cuerpos

celestes, fue un glorioso triunfo de la mecánica clásica determinista. Pero a principio del siglo XX se fue descubriendo, para confusión y congoja del mundo científico, que si bien el determinismo mecánico era válido en cuerpos formados por gran cantidad de partículas (por ejemplo un proyectil de artillería, un satélite artificial o natural, un planeta), fallaba cuando era aplicado al mundo de las partículas subatómicas, donde justamente ocurren gran parte de los fenómenos que se manifiestan luego en diversas formas de energía. La herramienta principal con la que se fue estableciendo esta revolucionaria teoría de la mecánica cuántica es -como ocurre en general con las ciencias naturales- la ciencia de las matemáticas, aplicada en ocasiones en su forma elemental, las más de las veces en sus más complejos desarrollos. (El lector interesado en introducirse en los aspectos elementales de la teoría de la Mecánica cuántica, tiene a su disposición una cantidad de libros de divulgación hallables en bibliotecas y librerías, así como en páginas de internet a las que puede acceder).

La investigación científica, tanto teórica cuanto experimental, ha llegado hoy trabajosamente a la conclusión de que en la naturaleza existen cuatro fuerzas fundamentales, que explican todas las formas de energía conocidas. Ellas son la fuerza de la gravedad, la fuerza electromagnética, la fuerza débil y la fuerza fuerte.

Pasaremos a describir muy someramente los conceptos principales de cada una de ellas, cuyo conocimiento total y final la ciencia no ha logrado todavía. El paso último, muy codiciado por todas las instituciones científicas del mundo y los investigadores que las integran, será quizás el descubrimiento de una teoría que englobe todas estas fuerzas, algo que suele llamarse la teoría del campo unificado o teoría de las fuerzas unificadas. Su obtención parece no muy distante, aunque los problemas teóricos que deberán resolverse sean formidables, involucrando hasta cuantiosas inversiones en la construcción y operación de poderosos medios de experimentación con partículas de muy alta energía.

Gravedad.- Esta fuerza es familiar al hombre desde tiempos inmemoriales, ya que la vida surgió sobre la Tierra hace unos cuatro mil millones de años y toda su evolución se hizo bajo sus efectos. Es la fuerza que hace que las cosas traten de dirigirse, siempre que queden en libertad, hacia el centro de la Tierra, haciendo por lo tanto que ellas permanezcan en general fijas con relación a la superficie terrestre. No sería posible caminar, montar a caballo, o desplazarse en un vehículo terrestre, acuático o aéreo si no fuera por esta fuerza. No existirían los océanos ni la atmósfera. No se hubieran formado ni estrellas ni planetas. Los intrincados movimientos de los astros en el cielo no se deben a misteriosas o mágicas causas, sino simplemente a la existencia de la fuerza de la gravedad, o fuerza gravitatoria. Cuando un objeto pesado, digamos un ladrillo, cae sobre nuestros pies, es una dolorosa comprobación de su existencia. El desplome de las torres gemelas de Nueva York el 11 de setiembre del año 2.001 luego de un ataque terrorista con aviones, fue una trágica verificación de que la gravedad existe y nos domina. Ícaro, el personaje mítico de la Grecia antigua, pudo huir del laberinto de la isla de Creta, pero al subir tan alto y fundírsele debido al calor del sol la cera con la que tenía sus alas pegadas a su cuerpo, cayó al mar víctima fatal de la implacable fuerza de la gravedad.

Ampliando el concepto, la fuerza gravitatoria se manifiesta entonces entre todas las partículas y los cuerpos que ellas integran en el cosmos, e incluso sobre la energía electromagnética radiante (un rayo de luz se curva visiblemente cuando pasa próximo a una estrella). Su magnitud decrece rápidamente con la distancia, ya que si se considera una cierta masa, se comprueba que en un punto cualquiera del espacio la fuerza gravitatoria que ella ejerce a su alrededor depende de la inversa del cuadrado de la distancia desde el punto considerado hasta el centro de la masa, así como es directamente proporcional al valor de esta última (Ley de la gravitación universal, de I. Newton). El universo está penetrado por la fuerza gravitatoria, que provocó la formación de toda la materia visible conocida. Estrellas, planetas y galaxias se formaron a partir de la materia dispersa desde el big bang (la gran explosión que dio origen a la formación del universo hace unos 14.000 millones de años), materia que fue condensándose bajo la acción de la fuerza de la gravedad. La tremenda energía que radia una estrella brillante, es también consecuencia de la fuerza gravitatoria, bajo cuyo efecto se fue condensando una enorme nube o nebulosa constituida de gases y eventualmente polvo cósmico existente en una vasta región del espacio. La caída de toda esa materia hacia el centro de gravedad de la nebulosa, fue transformando su energía potencial gravitatoria original

en energía cinética, la que a su vez, por colisión entre las partículas, se fue transformando en calor, elevando a tal punto la temperatura del núcleo que se inició el fenómeno de la fusión nuclear, fuente de aquella energía. Contemplando el universo como un todo, se ve que la gravedad es la fuerza dominante.

En la Tierra, en casi todos los fenómenos mecánicos, y los que derivan de ellos (como la generación de energía eléctrica mediante la caída de agua), interviene de alguna manera esta fuerza como causa principal. La vida misma, en todas sus formas, nació, se desarrolló y llegó a sus formas actuales, bajo la siempre presente influencia de la fuerza gravitatoria. Es una fuerza siempre atractiva entre dos o más porciones de materia, no como las que existen entre las cargas eléctricas o entre los polos magnéticos, que pueden ser de atracción o de repulsión según los signos de los elementos que se enfrentan. Además, se manifiesta a cualquier distancia.

Pero es importante advertir que aún cuando también existe atracción gravitatoria entre las partículas atómicas, resulta ser de magnitud ínfima debido a sus insignificantes masas, a tal punto que en los estudios de los fenómenos atómicos la fuerza de la gravedad no es considerada frente a las fuerzas electromagnéticas y la fuerza fuerte. Se puede decir entonces que la gravedad es una fuerza a considerar sólo en el mundo de los cuerpos macroscópicos, es decir formados por una cantidad muy grande de átomos. Aunque difíciles de detectar experimentalmente en nuestro planeta, la teoría muestra que también pueden existir "ondas" gravitatorias, es decir variaciones del campo gravitatorio en un punto del espacio, como consecuencia de la alteración de las masas o su distribución en el espacio que rodea dicho punto. La fuerza gravitatoria se propaga por el espacio a la velocidad de la energía electromagnética, la luz como ejemplo más conocido.

La teoría de la relatividad establece (y esto se verifica experimentalmente en los aceleradores de partículas que investigan las de alta energía), que es imposible que cuerpo o radiación alguna pueda superar la velocidad de la luz, del orden de los 300.000 Km/segundo. En el caso de un cuerpo, la imposibilidad surge de que la masa tiende a ser de valor infinito cuando su velocidad se aproxima a la velocidad de la luz, lo que significa que también la fuerza que debe impulsarlo tiende a ser infinita. Según la Teoría general de la relatividad, la gravitación no es en realidad una fuerza, sino una manifestación de la curvatura de la dimensión llamada espacio-tiempo provocada por la materia. Aceptado esto, las trayectorias keplerianas de todos los cuerpos que se mueven por el espacio -por ejemplo los planetas en órbita alrededor del sol o un simple satélite artificial alrededor de la Tierra-, no son debidas a las fuerzas de atracción gravitatoria entre las masas de materia -como sostenía la mecánica clásica de Newton- sino que constituyen el camino más recto entre dos puntos a través de un espacio-tiempo curvado por esas masas.

Pero no obstante lo dicho, cabe aquí una importante advertencia contra una creencia generalizada, la de que la teoría de la relatividad ha descartado totalmente a la mecánica clásica de Newton (los principios de inercia, de masa y de acción y reacción). La verdad es que ellos rigen con altísimo grado de precisión en los fenómenos mecánicos macroscópicos que podemos observar en la Tierra. Todos los mecanismos creados por el hombre, aquí en la Tierra o los enviados al espacio exterior, operan conforme a las leyes de la mecánica clásica con más que suficiente aproximación. Los problemas surgen cuando se analizan fenómenos que ocurren a muy altas velocidades, próximas a velocidad de la luz, o en campos gravitatorios de enorme intensidad, como en la vecindad de los agujeros negros, y en otros, en donde la aplicación de la mecánica clásica conduce a errores inaceptables.

Electromagnetismo.- Como ya se ha dicho antes en este trabajo, es a través de esta fuerza que nosotros percibimos el mundo que nos rodea. Cuando miramos algo, cuando experimentamos el calor y nos tostamos bajo el sol, cuando nos sacan una radiografía, casi siempre que usamos nuestros enseres domésticos, cuando viajamos en trenes eléctricos o, para decirlo brevemente, en muchos fenómenos que ocurren aquí en la Tierra o en distantes galaxias en los confines del universo conocido, es la fuerza electromagnética la que está siempre en juego dominante.

¿Qué es la fuerza electromagnética? Supongamos que un conductor -digamos un alambre de cobre- es recorrido por una corriente eléctrica de tipo continua (o sea que no

cambia de sentido), cuya intensidad es constante. Se puede comprobar que alrededor del conductor hay superpuestos dos campos de fuerzas cuyas intensidades en cada punto del espacio son invariables en el tiempo. Uno es eléctrico (que es el que impulsa la corriente de electrones a través del conductor) y otro magnético. Se habla de campos de fuerzas porque si se coloca una carga eléctrica o un imán en cualquier punto alrededor del conductor, sobre cada uno de ellos aparece una fuerza, de distinta intensidad y distinta dirección. Si ahora se aumenta o se reduce la intensidad de la corriente o se cambia su sentido, el campo electromagnético que rodea al conductor también cambia en intensidad y sentido de acuerdo con los cambios de la corriente.

La experiencia muestra que las variaciones de esos campos no se propagan al espacio circundante de manera instantánea, ni tampoco a cualquier velocidad, sino a una velocidad fija que resulta ser en el vacío la máxima velocidad posible en la naturaleza, igual a 300.000 Km/segundo. En aplicaciones técnicas de este efecto, principalmente para transmitir información, la corriente utilizada es de tipo alterna, es decir que su sentido varía periódicamente y de manera senoidal, en general muchas veces por segundo, lo que genera un tren de ondas electromagnéticas de cierta frecuencia (definida como la cantidad de ciclos producidos en cada segundo). La radio y la televisión, por ejemplo, son aplicaciones prácticas de este fenómeno. Hay otros fenómenos físicos distintos de corrientes eléctricas circulando por conductores, que producen también radiación electromagnética; por ejemplo la luz, el calor, los rayos X, los rayos gamma, fenómenos ellos que aparecen durante muy diversos y complicados procesos físicos que sufre la materia en su faz atómica.

Pero también es posible observar campos eléctricos y campos magnéticos separados. En el mencionado ejemplo del conductor, si el circuito eléctrico se halla abierto, o sea que no circula una corriente eléctrica, y la fuente que lo alimenta mantiene su tensión eléctrica (voltaje) constante, sólo hay un campo eléctrico alrededor del conductor. En otro caso, por fricción entre superficies de diversas sustancias aparecen campos eléctricos al perderse la neutralidad eléctrica exterior de esas sustancias por desplazamiento de electrones de uno a otro material. Por otro lado, los imanes están rodeados de un campo magnético (sin que se perciba corriente visible alguna que lo produzca), como lo muestra el espectro que se forma si se dispersan limaduras de hierro sobre un papel que cubre un imán. Y en este caso no existe un campo eléctrico.

Las cargas eléctricas pueden ser, por convención, positivas o negativas y hallarse separadas físicamente, según se dijo; los imanes en cambio siempre parecen poseer dos polos, también por convención llamados norte y sur. Hay entonces una diferencia esencial entre el campo eléctrico y el campo magnético de los imanes: puede obtenerse separadamente una carga eléctrica de cualquiera de los dos signos, pero no puede obtenerse un polo magnético que no esté acompañado con el polo opuesto, sea en un imán o en un solenoide (que es un conductor arrollado en forma helicoidal, como un resorte, que cuando es recorrido por una corriente se comporta como un imán).

No hay campos de fuerzas homogéneos en la naturaleza, sus intensidades varían en general de punto a punto y en cada punto en función del tiempo. En cuanto a la intensidad de los campos eléctricos y magnéticos -sea individualmente o combinados formando una onda electromagnética- en función de la distancia a sus fuentes, se cumple la ley de que ella varía inversamente con el cuadrado de la distancia, como ocurre con el campo gravitatorio creado por la materia. Esto significa que si a una distancia d de la fuente que lo crea el campo vale 1 (en la unidad que corresponda), a una distancia $2d$ vale $1/4$, a una distancia $3d$ vale $1/9$, etc. En cuanto a sus intensidades comparadas, un simple experimento muestra que los campos eléctricos y magnéticos son mucho más intensos que el campo gravitatorio. En efecto, con un pequeño imán o una escuadra de plástico electrizada por frotamiento contra una tela, se pueden levantar pedazos de hierro o de papeles, respectivamente, venciendo así la atracción gravitatoria que sobre ellos ejerce un cuerpo tan masivo como el planeta Tierra. Por esto es que en los estudios atómicos la fuerza de la gravedad no se tienen en cuenta, por ser extremadamente débil comparada con las otras tres.

Como se aprende en los libros de física y química del nivel secundario (que se recomienda repasar para mejor entender este trabajo, tal como se dijo en la introducción al mismo), *los átomos de materia están contruidos con partículas cargadas eléctricamente,*

aunque no todas ellas. Los electrones, que rodean el núcleo del átomo, y los protones que integran a éste, se hallan cargados eléctricamente, los primeros negativamente, los segundos positivamente. No así los neutrones, que como su nombre lo indica no poseen cargas, y que también forman el núcleo junto a los protones. Hay otras partículas, originadas en ciertos procesos físicos, que tampoco tienen cargas eléctricas: el fotón (una onda electromagnética que forma la luz, las ondas de radio y televisión, etc., que porta un campo magnético y otro eléctrico superpuestos) y el neutrino, que es una partícula tan pequeña que puede atravesar todo el planeta Tierra sin ser detenida. Ambos, que parecen ocupar todo el universo, provienen de la materia caliente (los fotones) y de los núcleos de las estrellas en complejos fenómenos, en especial cuando colapsan formando supernovas (los neutrinos). *Cada fotón es portador de una energía, como lo muestran los efectos de las diversas radiaciones electromagnéticas. Esa energía es en cada caso una función lineal o sea proporcional de la frecuencia de las ondas que constituyen la radiación.* Si llamamos e a esa energía y f a la frecuencia, ya Max Planck (el fundador de la teoría cuántica) había establecido en el año 1.900 que $e = k f$, donde k es una constante de un valor realmente ínfimo, llamada constante de Planck. De esta importante y simple relación surge que cuanto mayor es su frecuencia, más energía porta una onda, y por lo tanto mayor es el efecto sobre el elemento que la absorbe. Por esto es que los rayos X y los rayos gamma tienen gran poder de penetración, dada su tan alta frecuencia.

Y ¿cómo es que los átomos de un mismo elemento se unen para formar moléculas (por ejemplo los gases), o bien átomos de distintos elementos se combinan para formar otras sustancias, por ejemplo el agua? La explicación más elemental de esos fenómenos -dado que su interpretación física íntima cae dentro del dominio de la mecánica cuántica, totalmente fuera del alcance de este trabajo- es que esas uniones resultan de una coparticipación, por transferencia, de ciertos electrones del átomo de un elemento con el átomo del otro elemento con el que se combina. Un simple ejemplo es la combinación de un átomo del gas cloro (símbolo químico Cl) con otro de sodio (Na), para formar una sustancia muy conocida y a la vez importante en la naturaleza, y por tanto en nuestros cuerpos: la conocida sal de cocina, químicamente cloruro de sodio (Cl Na). En este caso y bajo ciertas condiciones que inducen el fenómeno, un átomo de sodio cede a otro de cloro un electrón, transformándose el primero en un sistema con carga positiva y el segundo en un sistema de carga negativa (llamado ión). Esto crea las condiciones eléctricas para que ambos elementos se enlacen por atracción electrostática como iones de distintas cargas, constituyendo una sustancia que tiene propiedades muy diferentes a las de cada componente por separado.

Existe una profunda relación entre el magnetismo y la electricidad, como ya se ha visto, sobre la cual se basa gran parte de nuestra civilización actual, especialmente con relación a la energía eléctrica, la forma más elevada de todas las energías utilitarias posibles para el uso humano. Para mejor entender esto hay que reconsiderar ahora en forma resumida tres experimentos fundamentales, como se describen a continuación. A) Toda corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético, cuya intensidad y sentido en cada punto es proporcional a la intensidad y sentido de la corriente. B) Cuando un conductor recorrido por una corriente eléctrica se halla en un campo magnético, aparece sobre el conductor una fuerza que es proporcional al producto de la intensidad del campo y de la intensidad de la corriente, y depende también de las posiciones relativas de los vectores que representan ambas magnitudes. C) Cuando en un conductor cerrado en forma de lazo y puesto dentro de un campo magnético, se cambia el flujo de éste concatenado con aquél (por ejemplo por rotación del lazo), aparece en el conductor una tensión eléctrica que origina una corriente eléctrica. Sobre la base de estos tres efectos, se genera casi toda la energía eléctrica, y funcionan casi todos los dispositivos que la utilizan, que son los que sostienen la presente y compleja forma de vida de los habitantes de los países avanzados.

La totalidad de los fenómenos eléctricos y magnéticos de campo, tales como los descritos en esta sección, están interpretados por las llamadas ecuaciones de Maxwell, que son la expresión matemática de su llamada teoría electromagnética, con las modificaciones aportadas por las teorías relativista y cuántica.

Fuerza débil.- Observando nuestra galaxia y todas las otras que nos rodean y hasta donde los instrumentos lo permiten, se verifica de tanto en tanto que ciertas estrellas, de masas mucho mayores que el sol, colapsan sobre sí mismas, o implotan, arrojando a continuación al espacio circundante enormes cantidades de su propia materia, la que fuga a altísimas velocidades alejándose de lo que quedó de la estrella original (en general una estrella neutrónica, porque su masa está constituida mayormente por neutrones, o bien, si la estrella es muy masiva, un agujero negro). En el proceso, la enorme energía potencial de toda la materia que forma la estrella se convierte en un breve tiempo en energía cinética, la que al concentrarse sobre el núcleo de la estrella provoca importantes cambios en la materia que allí estaba reaccionando en un poderoso proceso de fusión nuclear. Lo que se observa desde la Tierra es que de pronto surge en un punto del cielo donde antes había una estrella común, un astro de gran luminosidad, al que llamamos estrella supernova. Ese tremendo brillo es ocasionado por la enorme cantidad de energía que la estrella emite. La violenta expulsión de las capas externas de la estrella original a continuación de su colapso, se debe a la liberación de un denso torrente de partículas sin carga eléctrica llamadas neutrinos, que producen una suerte de barrido de la materia rechazada. Los estudios indican que en la actuación de los neutrinos se halla implicada una llamada fuerza débil. Su nombre deriva de que su intensidad es mucho menor que la fuerza electromagnética, pero muy superior a la de la gravedad. También la fuerza débil aparece en la desintegración de los núcleos de los átomos de las llamadas por eso sustancias radiactivas (el rádium o radio, por ejemplo), proceso en el que aparecen núcleos de helio y electrones.

La fuerza débil es la responsable de muchas transmutaciones nucleares, y su acción está limitada a un volumen muy reducido de espacio en los núcleos atómicos. Un notable caso en que la fuerza débil juega un importante papel es en la constitución de los neutrones, que por mucho tiempo se consideraron como partículas simples. No es así, porque en soledad los neutrones se desintegran dando lugar a la aparición de otras tres partículas (un protón, un electrón y un neutrino). Es lógico pensar que antes de la desintegración existía una fuerza que mantenía al neutrón "armado" por esas tres partículas. Ella era la fuerza débil. Sus efectos quedan a menudo ocultos ante las mucho mayores intensidades de la fuerza electromagnética y la fuerza fuerte. Todavía hoy su verdadera naturaleza está siendo estudiada, dada su complejidad.

Fuerza fuerte.- Si la fuerza atractiva de la gravedad es tan débil entre las diminutas masas de las partículas que constituyen el átomo, debe haber alguna otra fuerza que mantiene juntos los protones en su núcleo, ya que al tener la misma carga eléctrica y de igual signo (+) se rechazan, y considerando la ínfima distancia que los separa (que hace que la fuerza eléctrica de repulsión sea muy grande), esa fuerza cohesiva debe necesariamente ser muy fuerte, para vencer a la intensa fuerza electromagnética. Profundos análisis teóricos -a través de la mecánica cuántica- de muchos fenómenos del ámbito atómico, muestran que efectivamente esa fuerza existe. Por ser tan poderosa, más que cualquiera de las otras tres (la electromagnética, la gravitatoria y la débil), se la llamó fuerza fuerte.

La fuerza fuerte mantiene juntos no sólo a los protones, sino también a ellos con los neutrones (entre los cuales no hay en realidad atracción o repulsión alguna dada la falta de carga eléctrica del neutrón), de modo que puede decirse que esta fuerza es la responsable de que los núcleos atómicos se mantengan armados. Los electrones y los neutrinos no son influidos por esta fuerza, los primeros porque se mueven a grandes distancias unos de otros. El radio de acción de la fuerza fuerte es muy pequeño, apenas suficiente como para cumplir con su función cohesiva. Esta fuerza es la fuente de la gran energía que se genera en los núcleos de las estrellas, como nuestro sol, que funcionan como reactores de fusión, es decir en donde ciertos elementos se van sucesivamente componiendo en largos períodos a partir del más liviano, el hidrógeno (H) que en mayor parte constituye originalmente las estrellas, hacia otros de mayor complejidad, o sea de mayor peso atómico, hasta llegar al hierro (Fe). Este proceso es inverso a lo que ocurre en las reacciones de fisión, que son las que se producen en los reactores de las centrales nucleoelectricas, en donde elementos de gran peso atómico, como el uranio (casi 240 veces más pesado que el hidrógeno), se descomponen emitiendo una cantidad de partículas de su núcleo y formando así átomos de elementos más simples, es decir con núcleos de menor

tamaño, con una enorme emisión de energía. La porción térmica de ella es la que transforma el agua en vapor, el que al pasar por una turbina que mueve un generador eléctrico produce electricidad.

Es importante saber que en los procesos tanto de fisión como de fusión, parte de la masa de los elementos intervinientes se transforma en energía a través de complejos fenómenos entre las partículas que constituyen el átomo (explicados ellos por la física cuántica), cumpliendo la conocida ecuación relativista $E=mc^2$, donde E es la energía producida, m es la masa de la materia que se transforma en energía y c es la velocidad de la luz, cuyo valor es igual a 300.000 Km/segundo = 3×10^{10} cm/segundo. (Recordar que 10^n equivale a un 1 seguido de n ceros). Dado que esta velocidad se eleva al cuadrado en la fórmula, resulta que ínfimas cantidades de materia pueden producir enormes cantidades de energía. Este notable hecho explica el inmenso poder destructivo de las armas nucleares, así como porqué una pequeña cantidad de “combustible” nuclear es capaz de generar cuantiosas cantidades de energía en las centrales atómicas o nucleoelectricas.

Debido a que el sol -como todas las estrellas que vemos brillar en el cielo nocturno- transforma en energía grandes cantidades de materia, del orden de las centenares de miles de toneladas cada segundo (!), su potencia (energía radiada cada segundo) es enorme. La energía que en forma de radiación electromagnética llega desde el sol a la Tierra en la forma de luz y calor (una ínfima porción de toda la que el sol emite al espacio), es la causa principal de que la vida se haya desarrollado sobre su superficie. Esa radiación es asimismo la fuente primaria de casi toda la energía que usamos en el planeta en la forma de combustibles fósiles (petróleo, su gas y carbón), que es la más utilizada, y la hidroeléctrica, es decir la generación de electricidad por medio del agua, gracias al ciclo que ella cumple en la superficie terrestre por acción del sol.

6. La importancia de la energía en la vida de los pueblos.

6.1 General. *La evolución del hombre, a lo largo de los millones de años que tardó en llegar desde formas primitivas a su forma actual, está íntimamente vinculada con las distintas clases y cantidades de cada una de las energías de las que pudo disponer en cada época. El hombre primitivo, indefenso, desnudo, viviendo en grupos nómadas y sin un lenguaje estructurado, disponía de la sola energía de su propio cuerpo, proveniente de los alimentos que ingería, la que se multiplicaba cuando se reunían varios individuos con el fin de realizar un determinado trabajo, por ejemplo cazar animales para comer o aprovechar sus partes. Una importante proporción de su propia energía corporal se consumía en desplazarse, recoger frutos y cazar para alimentarse, y luchar para defenderse de sus enemigos. Con el tiempo descubrió el valor del fuego, generalmente iniciado con esfuerzo por sus propias manos, y comenzó a aplicarlo con distintos fines: calentarse en el frío, ahuyentar fieras que podían atacarlo en la noche, poder ver lo que hacía en la oscuridad, tal vez para cocinar alimentos, principalmente porciones de animales, y hasta para construir armas y herramientas elementales. En algún momento algunos grupos humanos comenzaron a utilizar la energía de ciertos animales que pudieron domesticar, principalmente para acarrear cargas, él mismo entre otras. Esto fue un gran avance en esa época, porque le permitió multiplicar su potencia y su capacidad de desplazarse.*

Mucho más tarde *los pueblos* que vivían cerca de superficies de agua, aprendieron a navegar sobre ellas por medio de canoas a remos, nuevamente utilizando para ese fin su energía física. Siempre muy lentamente, el hombre aprendió a aplicar la fuerza del viento para empujar velas montadas sobre sus primitivas embarcaciones, ahora transformadas en veleros, y así pudo navegar más rápido y con menor esfuerzo, por lo tanto más lejos. *La navegación en barcos de velas impulsadas por el viento* para viajar por ríos, lagos y finalmente mares, *junto con el uso del caballo, el camello, el elefante y otros animales de carga* para desplazarse por tierra, *hicieron posible la exploración y conquista de todo el mundo por parte de distintas civilizaciones a lo largo de muchos milenios.* El comercio internacional no hubiera sido posible en aquellos tiempos sin esos medios de transporte, que utilizaban sólo energía natural, *por lo tanto no contaminante.* La energía del viento sobre las aguas y la tierra y sobretodo la potencia de los equinos, camellos y elefantes sobre la tierra, es aún hoy usada en muchos países de bajo desarrollo tecnológico por millones de seres humanos para viajar, comerciar, extraer agua del subsuelo para cultivar, y aún para usos industriales de baja complejidad. En las dos últimas aplicaciones tuvieron destacado protagonismo los *molinos de viento*, que son como grandes ruedas de ventiladores que en vez de ser movidos por motores eléctricos para producir viento, al revés, giran impulsados por el viento para producir trabajos mecánicos, tales como moler granos para poder alimentarse, elevar agua para riego, etc. Los *molinos de agua*, donde había ríos disponibles para ello, cumplieron funciones similares. En la Argentina, y en muchos otros países, se han utilizado intensivamente hasta hoy *molinos de viento* para extraer agua del subsuelo para aplicaciones agropecuarias. Viajando por los campos ventosos se puede observar esta realidad.

La energía eléctrica de origen eólico. Este es un tema especialmente interesante por la promesa que encierra en el contaminado mundo actual. Desde mediados del siglo XX, en escala creciente, comenzaron a usarse en viviendas aisladas donde no se disponía de otros medios, pequeños generadores movidos por aspas que el viento hacía rotar, para generar potencias eléctricas reducidas en corriente continua que permitían cargar baterías y hacer funcionar con ellas a toda hora equipos de baja potencia para iluminación, radio y música. Multitudes de personas han podido mantenerse en contacto con el mundo a través de equipos radorreceptores y de comunicaciones alimentados con esa reducida energía eléctrica. *Los molinos de viento están nuevamente volviendo en regiones ventosas de muchos países,* hoy para generar energía eléctrica en potencias considerables, del orden de los miles de KW en las grandes unidades generadoras. En la Argentina existen ya varias instalaciones que generan energía eléctrica que se vende a consumidores, especialmente en la Patagonia, debido a sus fuertes y sostenidos vientos. (Si viaja a Comodoro Rivadavia, vea una de las llamadas "granjas

eólicas” no muy lejos de la ciudad. Descubra también –como otro ejemplo de aprovechamiento de la energía eólica- veleros deportivos navegando por el agua en los ríos, lagos o mares donde hay una ciudad próxima. La fragata argentina Libertad navega frecuentemente a vela en sus largos cruceros de instrucción de los oficiales de la fuerza naval). ¿Remontó alguna vez un barrilete, esa divertida maquinita voladora que genera alegría en niños y adultos y se eleva y sostiene en el aire por la energía del viento?

6.2 La revolución científica-tecnológica-industrial. Después de milenios sin novedades técnicas notables, un gran cambio en la vida de los pueblos de Europa occidental ocurrió a finales del siglo XVIII y principios del XIX, cuando comenzaron a utilizar el fuego, es decir la energía térmica de los combustibles, para algo más que calentarse en el frío, cocinar y obtener y procesar metales. Se trataba de producir potencia mecánica. Para ello comenzaron a quemar sobre todo carbón mineral (también llamado hulla, abundante en Europa) para producir vapor de agua en calderas primitivas, el que movía una máquina motriz de tipo alternativo. Con estas máquinas se podía reemplazar en los talleres y fábricas la potencia de mucha gente o animales juntos, sin que ella se cansara y a un costo muy inferior y con menos conflictos. (Una máquina motriz a vapor de tipo alternativo, es una que produce potencia mecánica debido a la fuerza que el vapor de agua a presión ejerce sobre la superficie de un pistón que se mueve dentro de un cilindro, cuyo movimiento alternativo se transforma en rotativo gracias a la combinación de piezas similares a la biela y el cigüeñal de los motores de combustión interna, que son los que mueven todos los vehículos automotores terrestres, los barcos y algunas aeronaves actuales. Hasta mediados del siglo XX la mayor parte de los trenes del mundo eran tirados por locomotoras de vapor).

Este invento inició toda una época en la historia de Occidente, porque permitió fabricar variedad de productos (textiles por ejemplo) a bajos costos y en grandes cantidades. También con su aplicación al transporte ferroviario de mercancías y pasajeros se acortaron notablemente distancias y tiempos. Se la llamó la Revolución industrial.

Poco antes de esa revolución se había iniciado otra -que en realidad fue la que hizo posible e impulsó a la revolución industrial- que podría llamarse la Revolución científica y tecnológica, de efectos crecientes sobre la civilización humana hasta nuestros días. Ella ha logrado descubrir y explicar una gran cantidad de importantes fenómenos naturales cuyas aplicaciones, en menos de dos siglos, han cambiado radicalmente la vida de los seres humanos de aquellas naciones que querían y podían aprovechar a pleno esos adelantos en su beneficio. Todos los elementos construidos por el hombre que vemos hoy a nuestro alrededor y usamos para nuestro bienestar, son productos de la combinación de las revoluciones científica, tecnológica e industrial. (La verdad es que los beneficios fueron aprovechados al principio sólo por una parte de Europa, que constituía una minoría comparada con la población humana mundial de entonces. Aún hoy, algo así como la mitad de la población del mundo no goza de los beneficios que aquellas revoluciones parecían prometer para todos. En una insoluble contradicción, hay que decir que gracias a esta situación, la contaminación mundial es mucho menor que la que hubiera resultado en caso de que el avance científico-tecnológico-industrial se hubiera propagado uniformemente sobre todo el planeta).

6.3 Qué es la ciencia. Es, para decirlo en pocas palabras, la investigación rigurosa de los fenómenos naturales por medio de la experimentación y la observación, y su cuidadoso análisis con ayuda de la inteligencia de hombres y mujeres que por hacerlo son llamados investigadores científicos. Después de cientos de miles de años de ignorar el hombre la naturaleza de las cosas, a partir del siglo XVII (con los estudios y experiencias de Galileo Galilei, fundador de la física moderna) y de manera acelerada, se produjo un estallido del saber que llega hasta nuestros días. En las ciencias físicas se logra, a medida que el conocimiento obtenido por el método científico de investigación se va acumulando, enunciar las leyes y principios que rigen o cumplen los distintos fenómenos que se observan y estudian. Es en cierto modo un proceso circular, en el sentido de que cuanto más se avanza en la investigación, la

acumulación de conocimientos y el desarrollo de siempre más complejo instrumental de investigación, permite un avance hacia nuevos límites. Y, aunque el tema es de naturaleza filosófica y por lo tanto fuera del objetivo didáctico de este trabajo, quizás nunca el hombre alcance la última frontera del conocimiento, entre otras cosas porque el universo evoluciona de continuo, lo que requiere de investigaciones interminables.

En las llamadas hoy ciencias duras, el lenguaje supremo que permite avanzar en su desarrollo es a su vez otra ciencia, la de las matemáticas (aritmética, álgebra, geometría, cálculo, etc.). Las matemáticas no sólo constituyen una ciencia de por sí, sino que también sirven para la investigación científica del mundo natural y, por lo menos en su forma elemental, ayudan también en lo personal a razonar y poder así resolver problemas de todos los días.

(Por lo menos por esa última razón es que conviene estudiarla, aunque sea en sus aspectos más elementales).

6.4 Qué es la tecnología. Es el desarrollo de conocimientos basados en las distintas ciencias, en general las de tipo duro, que permiten el diseño, la construcción y el mantenimiento de toda clase de aparatos, instrumentos y cosas que soportan la civilización actual. Ferrocarriles, automóviles, barcos, aviones, caminos, puentes, edificios, energía eléctrica, escritura impresa, teléfonos, radiotelefonía, televisión, cinematógrafo, energía atómica, computadoras, instrumental de uso médico, medicamentos, satélites, en fin, *todos* los objetos que utilizamos hoy, son el resultado del desarrollo del conocimiento científico y sus aplicaciones tecnológicas, acumulados desde el nacimiento de aquellas verdaderas revoluciones, hace unos cuatro siglos. Las grandes ciudades modernas, como Buenos Aires y otras argentinas y del mundo, son el resultado de la suma de una inmensa cantidad de trabajo humano y la aplicación de muchos de esos portentosos avances científicos y tecnológicos. Es oportuno reiterar aquí que en los sistemas físicos que hacen posible todos esos logros, se producen continuas transformaciones de distintas clases de energía en otras, abarcando en conjunto todas las manifestaciones energéticas conocidas. Las más valiosas de ellas se describen en este trabajo.

6.5 La importancia de la investigación científica y tecnológica para el avance de la sociedad humana. Para entender este tema, pensemos en lo siguiente. Cuando un ingeniero, o un arquitecto, quiere saber la importancia de un elemento en una obra que va a construir, por ejemplo si una columna es realmente necesaria en la estructura de un edificio, suprime o remueve *virtualmente* ese elemento en el proyecto y verifica luego qué ocurre en la estructura debido a esa supresión. A veces se comprueba que un edificio puede derrumbarse removiendo esa columna. Aplicando por analogía este criterio a la civilización contemporánea, para averiguar cuán importante son en ella la ciencia y la tecnología, imaginemos que por algún motivo desaparecieran un día de la faz de la tierra todos los conocimientos científicos y todos los aparatos y sistemas que la tecnología permitió desarrollar sobre esos conocimientos. (Revea sección 6.4). ¿Qué pasaría? Algo terrible. La humanidad se vería obligada de pronto a vivir como lo hacía siglos atrás, cayendo en poco tiempo en un total caos y por consiguiente en la barbarie, por el violento cambio sufrido y la imposibilidad de adaptarse a él. En línea con esta verdad, puede afirmarse que un país que no promociona debidamente la investigación científica y tecnológica –tal como ocurre crónicamente en la Argentina- está condenado a permanecer en una posición relegada y de dependencia con respecto a las naciones que sí lo hacen. Como un hecho muy significativo a este respecto, sobre todo en la actual crisis que vive la Argentina por causa de las tremendas deudas que la paralizan, se comprueba que *nuestro país es deudor de acreedores de los países que han tradicionalmente apoyado por todos los medios la investigación científica y el desarrollo tecnológico.* ¿Es esto casual?

Hay otras razones para apoyar la investigación científica y tecnológica en un país. Es con relación a la energía. Los yacimientos de los combustibles que proporcionan la mayor parte de la energía gastada por una sociedad moderna no son ilimitados, se agotarán de una manera

u otra con el tiempo, o bien su uso se deberá reducir por presión internacional frente al destructivo proceso de contaminación del planeta. Los países dependientes de la provisión de hidrocarburos caerán así en una peligrosa dependencia de aquéllos que controlan el mercado mundial de los mismos, o de las tecnologías que los reemplacen. El estado nacional -ya que no justamente los entes que manejan el negocio- es el que tiene la obligación de prever esa crisis y tomar con mucha anticipación las medidas correspondientes. A este efecto, las políticas que garanticen el efectivo mantenimiento e incremento de la investigación científica y tecnológica que desarrolle nuevas fuentes energéticas serán decisivas.

6.6 Utilización de las distintas formas de energía en un país. El análisis de este tema no es simple. Se comentarán algunos aspectos del mismo a fin de dar una somera idea. Una forma muy simplificada de tratar el tema con relación a un determinado país, sería analizar las *cantidades de energía consumidas*, la *clase de fuentes o agentes energéticos utilizados* y las *aplicaciones o tipos de consumo* que el país tiene, vinculándolo esas magnitudes por ejemplo con su *producto bruto* (suma de todo lo producido en el país a lo largo de un año).

Para llegar a determinar *cuánta* energía un país emplea para su desarrollo, hay que contabilizar los montos de todas las formas que se utilizan, en una unidad común, por ejemplo calorías, o kilovatios hora, o m³ de petróleo equivalentes (por su energía interna como combustible). Obviamente, el estudio debe referirse a un determinado año, quizás computando mes a mes, dado que los valores cambian a través del tiempo. Un estudio amplio involucra también confeccionar tablas y diagramas anuales e históricos mostrando gráficamente esos cambios, inclusive las tendencias de variación.

La *clase o tipo* de fuentes energéticas utilizadas, junto con su orden de *aplicación* o utilización, varía en los países con el tiempo porque el uso de una u otra depende de la demanda, sus precios, disponibilidades en el mismo territorio del país y/o por importación, razones técnicas, situaciones políticas internacionales, etc. En el caso de Argentina puede decirse que, por mucho, la mayor parte de la energía que se consume hoy proviene de quemar hidrocarburos, que son los derivados del petróleo obtenidos por su procesamiento en grandes plantas industriales llamadas refinerías o destilerías. (Cuando el petróleo es sometido a diversos procesos, se descompone en una cantidad de productos como la nafta, el kerosene, el gasoil, el fueloil, que son los combustibles más utilizados, y muchos otros productos). Este tema se tratará en mayor extensión en el capítulo 8. Costos de la energía.

Otra fuente importante de energía es el gas del petróleo, que surge de los pozos de los yacimientos de petróleo junto con éste o bien solo. Purificado, es casi todo gas metano, fórmula química CH₄, por lo tanto un hidrocarburo, muy usado en la generación de energía eléctrica, los procesos petroquímicos, la industria, la calefacción de edificios y para cocinar. En los últimos años y de manera creciente se está utilizando para la propulsión de automotores, automóviles en su mayoría, en la modalidad de **gas natural comprimido** en fuertes cilindros de acero a altas presiones, llamado abreviadamente GNC.

En total, aproximadamente un tercio de los hidrocarburos consumidos para todo uso, se aplica al transporte en Argentina. En el mundo es un 27 % y en los Estados Unidos de Norte América, el país del automóvil, un 40 %. Son estadísticas del año 2.000. Como puede verse por esos porcentajes, no será tarea fácil cambiar los hábitos de consumo energético de la población mundial, ni aún por razones tan contundentes como es la necesidad de reducir los graves daños que se están infiriendo al planeta Tierra (la contaminación ambiental, el calentamiento global y la reducción de la capa de ozono). Sobre todo porque el país con mayor consumo de combustibles del mundo es al mismo tiempo el que concentra el mayor poder económico, político y militar.

Otras fuentes de energía utilizadas en Argentina son la energía gravitatoria del agua o energía hidráulica y la energía atómica, denominada asimismo nuclear, usadas ambas mayormente para generar energía eléctrica. En unas pocas centrales termoeléctricas se utiliza carbón mineral, extraído de las minas de Río Turbio, en la patagónica provincia de Santa Cruz.

En algunos procesos industriales y para usos domésticos donde no se dispone de otras fuentes, se aprovecha en todo el mundo el poder calorífico de la leña para producir vapor de

agua y para cocinar y disponer de alguna calefacción en las casas, sobre todo en zonas boscosas. El lado negativo de esta práctica es que de esa manera se van talando los bosques.

Otras formas de energía que no dañan la naturaleza, como la producción de electricidad por el viento, el aprovechamiento directo de la energía solar térmica (sea para utilizar su calor industrialmente o para la calefacción de interiores habitados), o bien la electricidad que la energía de la luz solar puede generar mediante paneles fotovoltaicos, tienen hoy en el mundo y particularmente en Argentina, una muy baja participación comparada con las otras formas de energía mencionadas, todas ellas contaminantes. Pero se les puede vaticinar una importancia creciente a medida que las formas clásicas de energía -en especial los combustibles- vayan aumentando sus precios debido a su escasez, a la vez que los costos de las formas no convencionales de energía mencionadas vayan bajando a través de la investigación científica y tecnológica. En especial se irá incrementando la generación de energía eléctrica eólica (del viento), producida mediante generadores impulsados por grandes hélices de baja velocidad de rotación, instalados en regiones ventosas, como la Patagonia en el caso de Argentina. La energía solar térmica se irá también aprovechando cada vez más a medida que los edificios sean provistos de diseños y dispositivos que la capten, con estimables beneficios económicos y ambientales. En este sentido, casi todas las posibilidades están todavía por ser aplicadas.

6.7 La propiedad de los hidrocarburos. Es un tema importante, dadas las grandes riquezas encerradas en los yacimientos de petróleo y gas existentes en el subsuelo terrestre o submarino de muchos países, Argentina entre ellos. La discusión sobre el dominio del subsuelo, cuando él encierra valores comerciables, es de antigua data. En el continente americano hay dos criterios establecidos desde el momento en que estas tierras pasaron a ser propiedad de las coronas de España, Portugal e Inglaterra. En el derecho anglosajón británico la propiedad de la superficie de una tierra, implica e incluye todo bien que exista hacia abajo indefinidamente. Por el contrario, las coronas de la península ibérica -española y portuguesa- establecieron que la propiedad del subsuelo era del reino en el que esa tierra se hallaba, no de su propietario, criterio que se afirmó aún más con el descubrimiento de las enormes riquezas minerales de América, especialmente de metales preciosos como el oro y la plata, imprescindibles para el sostenimiento de los tremendos gastos de esos estados imperiales. Este régimen se incorporó a la legislación en los estados nacionales democráticos que se constituyeron luego de las guerras de la independencia americana, en especial desde que se comprendió sobre todo a principios del siglo XX la notable valorización que fue adquiriendo el petróleo en el esquema económico nacional y mundial.

¿Cuáles fueron los resultados de uno y otro régimen? La respuesta depende de los principios sociales que se adopten. Para los intereses de las grandes organizaciones que manejan el formidable negocio del petróleo, el régimen inglés, transplantado a América del Norte durante la colonia y mantenido por los Estados Unidos cuando se constituyó como país independiente, indudablemente es el mejor. Porque permite que los inversores sean los *propietarios* de esas riquezas, situación que sin duda ha estimulado grandemente las inversiones y, de esa manera, conducido a un gran avance de las explotaciones de hidrocarburos en ese país. Más aún, es evidente que de esa manera el progreso de Estados Unidos se aceleró como no podría haber ocurrido adoptando el otro criterio. Las consideraciones multidisciplinarias en torno de este tema son muy extensas y conflictivas, y quedan por lo tanto fuera del alcance de este texto básico.

A principios de la década de los años 90 Argentina cambió su régimen y permitió que empresas no estatales obtuvieran permisos para explorar los campos petrolíferos y, en caso de hallarse depósitos importantes, realizar la explotación de los mismos, incluyendo el derecho a industrializar y/o comercializar los subproductos obtenidos del crudo, tanto en el mercado interno como en el externo, a través de la construcción y operación de destilerías y surtidores ("bocas de expendio") propios. Una situación similar, pero en proporción mucho menor, existía desde hacía muchos años cuando las empresas internacionales Shell y Esso explotaban hidrocarburos en el país, pero siempre frente al monopolio estatal y controlador de precios que fue YPF.

Además, por modificación de la constitución nacional, las provincias con riquezas petrolíferas y gasíferas gozan desde 1.994 del dominio de todos los recursos naturales existentes en su territorio, lo que les ha permitido gozar de importantes aportes a sus respectivos presupuestos en virtud de las llamadas regalías que las empresas les pagan por las extracciones que realizan en sus territorios. Los volúmenes de exportación de esos productos quedan sometidos a controles para impedir el desabastecimiento del mercado interno. El último acto de este proceso tuvo lugar en el 2.003, cuando gran parte de los activos propiedad de la empresa española Repsol-YPF fueron vendidos por su titular, una empresa argentina, a la empresa Petrobras, el ente *estatal* petrolero de la República Federativa del Brasil. La sigla YPF significa Yacimientos Petrolíferos Fiscales, es decir, del estado argentino, empresa que ya no existe y que había sido soñada por el ingeniero norteamericano-argentino Jorge Newbery a principios del siglo XIX poco después del descubrimiento del petróleo en Comodoro Rivadavia, y creada luego por el visionario argentino que fue el General Mosconi. Con respecto al gas natural del petróleo, las políticas de gobierno de la última década han ignorado el valor estratégico de ese combustible, permitiendo que su exportación masiva a países vecinos reduzca las reservas comprobadas desde un valor de 70 años en 1.985 a 11 años hoy (2.003).

Cómo la humanidad utiliza las distintas clases de energía, es el importante tema siguiente.

7. Uso mundial de la energía.

7.1 General. *La energía es utilizada en numerosas y distintas fases, formas o clases en las actividades humanas. Si la utilización de energía es tan importante, ¿cómo puede definirse el beneficio que su uso acarrea a un país, y poder así compararlo consigo mismo y con otros a través del tiempo?* No es tarea fácil, entre otros motivos porque se acepta mundialmente que hay una estrecha relación entre el consumo de energía de un país y el nivel de vida de sus habitantes, afirmación ésta que no todos los gobiernos nacionales aceptan, especialmente cuando las estadísticas muestran que es un valor muy bajo, lo que no hablaría bien de su gestión.

En un primer intento podrían compararse las cantidades anuales totales de energía consumidas por los distintos países. Pero no se puede decir con seguridad que porque un país consume más energía que otro, sus habitantes viven mejor, porque el primero podría tener una población mucho mayor que el segundo, de modo que cada habitante del primero podría en realidad disponer de menor energía que cada habitante del segundo. Cabe insistir aquí que nos estamos refiriendo al uso o consumo de energía en un país, no a la producción, que puede ser muy distinta en más o en menos. El caso más patético en este sentido es el de los países árabes, que poseen inmensos yacimientos de hidrocarburos en la forma de crudo y gas, pero cuyo consumo de energía para uso de la población no es tan grande en comparación, ya que la mayoría es vendida a los países de altos consumos energéticos, principalmente los Estados Unidos y los países que integran la Unión Europea. Inversamente, el consumo de energía en estos últimos países es mucho mayor que la producción propia, ya que importan o por lo menos toman fuera de sus territorios -como es el caso de los que forman la unión europea con los hidrocarburos del Mar del Norte- la energía que no producen.

Una forma mejor de resolver el problema es sumar todas las cantidades de las diversas energías que cada país *consume*, por ejemplo en un año (expresando cada una en la misma unidad, podría ser la Kilocaloría o Kcal, o mejor aún la tonelada de petróleo equivalente en calorías, abreviada como tep), y dividir esa cantidad por el número de habitantes del país. Ese valor es lo que se llama consumo total promedio de energía por habitante y por año. Supuestamente, cuanto mayor es ese valor, más avanzado podría ser el nivel de vida (a veces llamado también estándar o confort) de sus habitantes, pues significaría que ellos tendrían

mayor acceso a todos los medios que las tecnologías han desarrollado, y que se han mencionado al final de la sección anterior, siempre que su poder adquisitivo se lo permitiera.

Otro índice valioso es el consumo medio o promedio de *energía eléctrica* de los habitantes de un país, dado que la mayor parte del confort con que la población vive es proporcionada por esa clase de energía. Basta con pensar en la cantidad de dispositivos y máquinas accionados por electricidad que uno utiliza directa o indirectamente día a día, para entender esa afirmación. Ese valor resulta de dividir el consumo eléctrico total expresado en KWh por la cantidad de habitantes del país, y se expresa en KWh/habitante.

En estas consideraciones no hay que olvidar sin embargo, que la calidad de vida de los habitantes de un país no queda solamente dado por el consumo energético, ya que hay otros varios factores que la determinan. Por dar un ejemplo, cuando la contaminación es elevada, ella sola puede neutralizar un alto consumo de energía en cuanto a apreciar el bienestar o confort de la población.

Es necesario remarcar aquí un hecho a tener en cuenta cuando se analizan los montos de las diversas formas de energía *consumidas* en un país. Y es que una parte considerable de los hidrocarburos, como el fueloil, derivado del petróleo, el gas de petróleo y también la hulla o carbón mineral, se utiliza como combustible para generar energía eléctrica en las centrales térmicas, que por esa razón son llamadas centrales termoeléctricas. Si la energía de esos combustibles se suma a la energía eléctrica que con ellos se genera, se estaría contabilizando de manera superpuesta la cantidad de energía del petróleo y la hulla que se transformaron en electricidad, con la energía eléctrica generada. Pero en cambio, la energía eléctrica generada en centrales hidroeléctricas, en centrales nucleares y eventualmente también por métodos no convencionales (viento, mareas, sol, etc., de pequeña incidencia éstas en la generación mundial de energía), todas ellas sin consumo de combustibles, *sí* deben ser contabilizadas para hallar el monto total de energía utilizada en un país.

Dicho en otras palabras, ya que las energías que más se utilizan en las sociedades modernas son la energía derivada de los combustibles y la energía eléctrica, para hallar la energía total *consumida* habría que sumar en las mismas unidades *toda* la energía de los combustibles quemados más la energía eléctrica generada, restando a esa suma la energía de los combustibles que efectivamente se utilizó para generar dicha energía eléctrica. La primera se expresa en teps, la segunda en Kilovatios-hora, y finalmente se podrían expresar ambas en la misma unidad, sean teps o bien KWh. (El volumen de combustibles del petróleo, gas, hulla, etc. utilizados en procesos que no son del tipo energéticos, tales como la petroquímica, no deberían contabilizarse en el consumo de energía, pues ellos terminan transformados en productos comercializables).

En muchos países aún hoy casi no se usa energía producida por el hombre a través de procesos tecnológicos. Por ejemplo, en muchos países africanos situados al sur del gran desierto del Sahara -que son los que reúnen a la mayor parte de la población de ese continente-, que no poseen suministro de otros combustibles, todavía se consumen enormes cantidades de madera extraída de los, en general, ya diezmados bosques naturales, práctica que a la larga podría hacerlos desaparecer.

Esa carencia o baja disponibilidad de energías creadas por la actividad humana a través de distintas tecnologías, es uno de los elementos de juicio que permiten calificar a un país -o a una región-, como todavía en un estado de bajo desarrollo. (Hasta en Argentina existen vastas áreas donde se da esta situación, puesto que la gente apela al uso de la madera para satisfacer sus necesidades energéticas, con lo cual se daña aún más la ya pobre población arbórea existente). La observación muestra que muchas de las sociedades humanas de esos países poseen en general bajo nivel cultural, viven a menudo en grupos tribales con serios conflictos políticos, étnicos y/o religiosos, internos o con otros países, que carecen de aglomeraciones humanas importantes en la forma de ciudades, y otras características propias de pueblos todavía en un primitivo estado de desarrollo. Asimismo, en esos países la expectativa de vida es baja, el analfabetismo es elevado y la estabilidad social precaria. Por el contrario, el uso masivo de energía -sobre todo la eléctrica- significa casi siempre que el país ha desarrollado industrias, tiene transportes y comunicaciones públicos, viviendas para la gente, hospitales, escuelas y universidades, es decir, que sus habitantes gozan en mayor grado de las comodidades que hacen más agradable la vida. Esta es la regla que -justamente

por ser tal- tiene sus excepciones, como la de aquellas sociedades humanas en donde el consumo energético es alto, pero su distribución entre la población es muy despareja, en el sentido de que sólo una minoría mantiene un alto consumo, mientras que el resto consume mucho menos. Cuando se toca este delicado tema social, algunos se preguntan si las sociedades humanas son primitivas porque no utilizan suficiente energía o no utilizan suficiente energía porque son primitivas.

En países como los Estados Unidos de Norte América, Alemania, Rusia, Francia, Italia, Gran Bretaña, Japón y otros, donde los niveles de vida son elevados, y la economía fuerte, los consumos de energía promedio por cada habitante y año son altos, y siguen aumentando, contando además con una aceptable distribución de los consumos entre la población.

Pregunta para el lector: ¿qué pasaría si el consumo por habitante en todo el mundo esto es, incluyendo aquellos países donde hoy el consumo es bajo- se pusiera en el nivel de los que hoy consumen más, tal como los nombrados?

7.2 Usos más comunes de las distintas formas de energía.

Los combustibles hidrocarburoados, es decir los derivados del petróleo, que son por mucho los más consumidos, permiten entre otras aplicaciones que los vehículos puedan desplazarse. Así es que en los automotores, sean ellos automóviles, camiones u ómnibuses, en los barcos, en los trenes, en los aviones, etc., se obtiene la energía mecánica que los propulsa quemando combustibles derivados del petróleo en sus motores y turbinas, como las naftas y el gasoil para los automotores, barcos y trenes, y el kerosene de uso aeronáutico para casi todas las aeronaves comerciales.

Los lubricantes, también químicamente productos hidrocarburoados que resultan de las últimas etapas de la destilación del petróleo, y por eso de mayor viscosidad, juegan un importante papel en todas las máquinas con piezas que se desplazan con rozamiento de unas contra otras. Sin ellos, los mecanismos de cualquier tipo que sean, en especial los automotores, trenes, aviones, barcos, las máquinas herramientas, los ascensores, y muchísimos otros aparatos de uso tan común en nuestra civilización actual, no podrían funcionar, se destruirían. Los lubricantes -sean ellos aceites o grasas, de muy diverso tipo- reducen mucho el rozamiento entre las piezas, en general metálicas, que se mueven rápidamente en íntimo contacto y con altas presiones unas contra otras en casi todas las máquinas. Esto evita que el trabajo consumido por una alta fricción -lo que ocurriría sin el uso de lubricantes- se transforme en tanto calor como para que la elevación de temperatura resultante en el área de contacto, primero ablande y luego funda los metales que las constituyen. Es lo que los mecánicos llaman el "engrane" o "fundido" de una máquina por insuficiente lubricación que es un grave daño, sobre todo si se trata de un motor. Además, la circulación que se le imprime al aceite lubricante por medio de bombas, remueve gran parte del calor producido no sólo por el frotamiento sino también, en el caso de las máquinas motrices de todo tipo, el calor del combustible que se quema en su interior, logrando así mantener temperaturas que no dañen los materiales, y permitiendo por lo tanto que las piezas duren largo tiempo aún trabajando bajo condiciones extremas. A fin de satisfacer las numerosas aplicaciones de los lubricantes, se han creado y se ofrecen en el mercado una multitud de diferentes tipos de aceites y grasas (lubricantes de alta densidad). Sus precios son, a igualdad de peso, considerablemente mayores que los de los combustibles.

GNC. Gas Natural Comprimido. Aunque lentamente, cada día se usa más en los motores de combustión interna que propulsan a los automotores, el gas natural (gas del petróleo, químicamente denominado metano, fórmula química CH₄) comprimido a muy alta presión y almacenado en fuertes cilindros de acero. Los motores son dotados de dispositivos que permiten usar nafta o GNC indistintamente, es decir, sin problemas, a necesidad o voluntad del conductor, y de un momento para otro. El gas es mucho más barato que los otros combustibles hidrocarburoados líquidos, ya que no requiere destilación, sólo una rápida purificación. Además, tiene la gran ventaja de producir mucho menos contaminación cuando arde, propiedad muy importante en las ciudades, donde el tránsito automotor es muy intenso. En Argentina su uso se extiende en gran escala, estando casi a la cabeza de los países que lo utilizan para este propósito.

Hulla. Tiene el más alto poder calorífico (cantidad de calorías por Kilogramo) de todos los carbones que pueden hallarse en yacimientos naturales o fabricarse a partir de la leña. Su mayor uso actual es en la generación de electricidad en centrales termoeléctricas, donde su calor produce vapor para mover las turbinas acopladas a los generadores. Pero tiene en su contra que aún cuando los gases y partículas de su combustión son retenidos en buena proporción en las mismas centrales, ellos son aún los causantes de una alta proporción de la contaminación atmosférica actual (partículas sólidas en suspensión, lluvia ácida por el azufre contenido en la hulla que también destruye enormes extensiones de bosques del mundo, etc.). En ferrocarriles de muchos países aún se utiliza carbón mineral, que en parte también es un hidrocarburo, para calentar el agua de la caldera que produce el vapor que le da potencia al motor de la locomotora, esto cuando su costo es menor que otros combustibles, en general debido a que en la región su disponibilidad es mayor. La destilación de este carbón da gas combustible y otros productos químicos de uso industrial. Los primeros suministros de gas para iluminación y consumo doméstico en la ciudad de Buenos Aires, tuvieron este origen. Hasta los primeros aeróstatos volados en Argentina, que son globos que ascienden en la atmósfera por ser más livianos que el aire que desalojan (principio de Arquímedes), estaban inflados con ese gas -llamado por su mayor utilización gas de alumbrado- dado que su densidad era considerablemente menor que la del aire.

Combustibles de aviación. En los grandes aviones de hoy, en lugar de motores de combustión interna usando nafta como combustible para hacer rotar hélices, como ocurría antes (y hoy todavía en los aviones pequeños, sobre todo de uso deportivo), se utilizan turbinas de gas, porque debido a su gran empuje se logran altas velocidades a grandes alturas, lo que las hélices no permiten alcanzar. Estas características hacen posible por un lado acortar sustancialmente los tiempos de vuelo, y por otro que la aeronave pueda sortear los peligros que representan las nubes tormentosas de gran desarrollo vertical (cúmulos nimbus), ventajas ambas decisivas tanto para la navegación comercial como para los usos militares de los aviones. (El nombre de turbinas de gas no se refiere a que usen gas como combustible, sino que, a diferencia de las turbinas de vapor, sus rotores son impulsados por gases de combustión producidos por un hidrocarburo líquido). Estas turbinas toman aire de la atmósfera por su boca delantera, le aumentan su densidad y temperatura con un compresor, lo mezclan luego con el combustible y lo hacen arder con el oxígeno del aire en una cámara de combustión. El gran volumen de gases que así se produce escapa hacia atrás a gran velocidad en forma de chorro, impulsando gracias al fenómeno de reacción al avión hacia delante, de la misma manera que los gases de la pólvora que se quema en las cañitas voladoras pirotécnicas las impulsan hacia arriba. (Recordar el principio de acción y reacción, uno de los tres pilares de la Mecánica clásica de Newton). De allí viene el nombre de avión a chorro o a reacción. Cada aeronave, cualquiera sea el medio que la impulsa, tiene a cada altura de vuelo y velocidad un determinado costo operativo expresado en \$ / Km. Y para cada tipo de trabajo de transporte de pasajeros y/o cargas hay una aeronave que es la más económica, es decir, la que brinda mayor utilidad a la empresa que explota el servicio. En las aeronaves a reacción típicas la altura de vuelo sobre el nivel del mar es de unos 10 Km y la velocidad de unos 1.000 Km/hora, aunque hay aeronaves especiales como el franco-británico Concorde que vuela a unos 16 Km de altura y una velocidad de unos 2.000 Km/hora. El combustible utilizado en las turbinas de estos aviones es un kerosene especial denominado JP1.

Propulsión de barcos. Como es sabido, la pieza típica para impulsar los barcos es la hélice marina, que trabaja sobre el mismo principio de las hélices de aviación. Pequeños barcos deportivos utilizan motores de combustión interna a nafta, combustible peligroso para ese uso por la posibilidad de incendios a bordo. Para embarcaciones mayores y hasta cierto tonelaje se usan también motores de combustión interna, pero de tipo diesel, menos peligrosos, que al consumir gasoil ofrecen menores costos en \$/Km y tonelada de carga transportada. En los grandes barcos, para hacer rotar las hélices propulsoras se suelen utilizar calderas quemando carbón o fueloil y con turbinas de vapor que generan electricidad que alimenta potentes motores. La electricidad brinda un fácil control de la potencia de los motores en marcha directa o reversa y por lo tanto de la velocidad de la nave, y posee además múltiples usos dentro de ella. También se utilizan turbinas de gas (como las de aviación, pero más pesadas y duraderas) que usan combustibles líquidos derivados del petróleo, en general fueloil, porque estas

máquinas permiten una operación rápida, pasando desde la inmovilidad fría hasta la operación a plena carga en poco tiempo, son más simples o sea más fáciles de mantener, y más livianas que los motores diesel o las turbinas de vapor de igual potencia (porque no tienen caldera), resultando por esas razones más económicas. Cualquiera sea el tipo de máquina motriz utilizada para impulsar un barco de hélice, ella mueve asimismo generadores que producen la electricidad que se necesita para muy distintos usos en muchos otros lugares de la nave.

El gas de los pozos de petróleo, purificado para que sea casi todo metano (CH_4), se usa como ya se dijo en cantidades todavía no grandes y muy comprimido en tambores, para mover vehículos automotores, en su gran mayoría automóviles, pero en realidad casi todo ese gas va a las usinas eléctricas para la producción de vapor a altas temperaturas y presiones con destino la generación de energía eléctrica, así como para la calefacción de edificios y casas. A partir de las turbinas de aviación desarrolladas en la segunda guerra mundial, en los últimos tiempos se construyeron para generar energía eléctrica turbinas de gran potencia del tipo a gas, es decir sin caldera para producir vapor. Un buen porcentaje del gas del petróleo se deriva a las plantas petroquímicas, donde se transforma en gran cantidad de productos de uso industrial y otros que hoy usamos, casi siempre sin darnos cuenta de ello, en nuestra vida diaria, tales como los plásticos. Cerca de la ciudad bonaerense de Bahía Blanca, en el sur de la Provincia de Buenos Aires, existe un gran complejo petroquímico alimentado con gas de los yacimientos patagónicos.

La energía eléctrica, que se genera en cada país por distintos medios (mediante centrales térmicas que queman combustibles, por centrales hidroeléctricas o por centrales nucleares), se introduce en cada punto de generación, en *los sistemas de transporte* y luego en las *redes de distribución*, por medio de los cuales se lleva finalmente esta clase de energía a los distintos lugares donde se usa, tales como fábricas, talleres, edificios institucionales, edificios de vivienda, medios de transporte, alumbrado público, etc. Dado que la energía eléctrica para esos usos proviene de muchos y distantes lugares del país donde están ubicadas las centrales generadoras, debe viajar de un lugar a otro a través de extensas *líneas de transporte* a alta tensión que cruzan el territorio del país, antes de ser introducida en las redes urbanas de distribución y ser entregada en cada punto de consumo.

Ver Figura .. – Energía eléctrica. Sistema de generación, transporte y distribución.

FFFFFF

7.3 Qué son químicamente los combustibles. Los combustibles químicos usados hoy para la obtención de energía son casi totalmente hidrocarburos, sustancias líquidas o en menor proporción gaseosas (CH_4), que son compuestos derivados del petróleo, con moléculas formadas por átomos del elemento carbono combinados con átomos de hidrógeno, de aquí su nombre. En algunos hidrocarburos las moléculas están compuestas de muchos átomos de carbono y varias veces más aún de hidrógeno, debido a que un átomo de carbono puede combinarse hasta con cuatro átomos de hidrógeno. (En Química se dice que el carbono tiene cuatro “valencias” y el hidrógeno una). Son menos densos que el agua, por eso flotan en ella, y su poder calorífico (cantidad de calor que emite una unidad de peso al arder en una atmósfera de oxígeno) es del orden de las 10.000 Kcal/Kg.

Cuando los combustibles se calientan a altas temperaturas, del orden de centenares de grados Celsius -sea ello por medio de una llama o una chispa- en presencia de oxígeno, entran en combustión, es decir comienzan a arder o quemarse produciendo gases con temperaturas muy altas, del orden de un millar de $^{\circ}\text{C}$, y en consecuencia con gran desprendimiento de calor. Cuando se mezcla uno de esos combustibles con la apropiada cantidad de oxígeno puro, pueden arder violentamente produciendo una explosión, propiedad ésta que suele causar frecuentes y a menudo graves accidentes. Esto es así porque el volumen de los gases y vapores resultantes es muy superior al volumen del combustible original antes de arder. En el proceso de la combustión -que se inicia sólo a altas temperaturas- las moléculas de los hidrocarburos se disocian, y los átomos de carbono se combinan con el oxígeno del aire formando dióxido de carbono (a veces llamado anhídrido carbónico, fórmula CO_2), y también en alguna proporción monóxido de carbono (CO) si la combustión no es completa por insuficiencia de oxígeno. El hidrógeno a su vez se combina con el oxígeno del aire para formar vapor de

agua (H₂O). Se generan además otros gases, como por ejemplo compuestos de nitrógeno y de azufre, e incluso partículas sólidas cuando la combustión es incompleta.

Se amplía la información sobre combustibles en el capítulo 8. Costos de la energía.

7.4 Crisis energéticas. *La civilización actual, en mayor o menor grado según las áreas de la geografía económica mundial que se considere, es muy dependiente de la disponibilidad de energía en todas sus formas, y en cantidades crecientes en el tiempo.* (En los Estados Unidos de Norteamérica, por ejemplo, el consumo energético durante el siglo XX se doblaba cada década aproximadamente.) A esas áreas pertenecen los denominados países del Primer mundo, así definidos porque en ellos la calidad de vida de los habitantes es considerablemente más alta que en los demás. Además poseen en conjunto un poder económico, por lo tanto también un poder militar, mucho mayor que todos los demás juntos. Su población total es alrededor de la sexta parte de la población mundial, hoy estimada en unos 6 mil millones de seres humanos.

Cuanto más alto es el nivel de vida de una sociedad, más dependiente del suministro energético es. Las áreas críticas en ese sentido son los Estados Unidos de Norteamérica, casi todos los países de Europa y Japón. Son los llamados "países del norte" (porque están en el hemisferio norte), donde los ingresos per cápita (por persona) son los más elevados del mundo. Curiosamente, el petróleo, que es la principal e imprescindible fuente de energía de esos avanzados países, se envía desde otros donde los niveles de vida son muy bajos. Una tercera parte de la producción mundial, dirigida sobre todo a esas naciones, proviene de los países árabes del cercano oriente, donde la calidad de vida popular no guardan relación con las enormes riquezas encerradas en el subsuelo y que su venta produce.

¿Qué pasaría si de pronto los países del primer mundo dejaran de contar con toda clase de energía, en especial la proveniente de los hidrocarburos?

(En el punto 6.5 La importancia de las investigaciones científica y tecnológica para el avance de la sociedad humana, se planteó una pregunta similar pero referida a la desaparición de toda la tecnología actual. Se recomienda repasar su contenido porque se vincula con la presente pregunta).

Si todos los sistemas de extracción, generación, transporte y distribución de las distintas formas de energía de los que un país depende fueran destruidos o quedarán inoperables por alguna causa, sin tener acceso a suministros desde el exterior, el país quedaría completamente paralizado en pocos días, provocando sin duda una enorme pérdida de vidas, en un proceso destructivo tipo avalancha. Sin alimentos, sin agua para beber, sin transportes terrestres, marítimos y aéreos, sin combustibles para calefacción y para cocinar, sin electricidad para hacer funcionar todos los aparatos que la requieren, tales como los equipos industriales de las fábricas, los sistemas de comunicación, los institutos de asistencia médica, los ascensores, las bombas de líquidos, etc., esos países caerían en un caos social catastrófico. Por suerte los sistemas energéticos de casi todos esos países están contruidos de tal manera que la posibilidad de que eso ocurra es remota, si es que hay una firme voluntad para evitarlo.

Lo antedicho explica el hecho de que las políticas internacionales de las grandes potencias del mundo están en mayor o menor grado dirigidas a preservar en su beneficio la exploración (búsqueda), explotación, comercialización y uso de las grandes reservas petrolíferas del planeta. Por atrás, a veces por arriba de esas razones, están los intereses de algunas grandes empresas transnacionales que obtienen enormes ganancias derivadas de las actividades petrolíferas, en especial mediante la comercialización de los productos. El ascenso, pero por sobre todo la caída, de muchos gobiernos de los países en donde se hallan los yacimientos de mayor riqueza -casi siempre del tercer mundo- e incluso sangrientos conflictos armados que se pretende justificar con débiles y falsos argumentos, tienen al petróleo como su inconfesada causa principal.

7.5 Imposibilidad de un aumento indefinido del consumo mundial de energía. No es posible, según el conocimiento actual, que la humanidad incremente por siempre, sin límites, el gasto energético en la Tierra. El consumo de energía ha crecido de continuo hasta el presente, y aún cuando las fuentes energéticas actuales se vayan agotando, seguramente nuevas fuentes de energía se irán descubriendo para reemplazarlas. Pero existe un problema

de momento insalvable para que ese crecimiento ocurra ilimitadamente. Y es que en casi todos los fenómenos en los que se libere una cierta cantidad de energía, como ya se vio, ésta termina casi siempre transformándose en calor, el que en parte es irradiado al espacio exterior, pero que de manera creciente es también absorbido parcialmente por la atmósfera, las aguas de la superficie del planeta y el suelo, los que de a poco van elevando sus temperaturas. En otras palabras, *ocurre de manera inevitable que para cada aumento de la energía consumida y transformada finalmente en calor, la temperatura superficial del planeta debe necesariamente subir para poder irradiar hacia el espacio ese agregado de calor.* (Esto se basa en la ley que rige la irradiación energética de los cuerpos.)

Este pernicioso e insalvable fenómeno se agrava con el efecto invernadero, producido justamente por la difusión en la atmósfera de las enormes cantidades de dióxido de carbono que el arder de los combustibles genera día a día.

Como el ascenso de temperatura así provocado, aunque sea pequeño, causa graves daños a la biósfera (zona donde se desarrolla la vida en el planeta), debe ser evitado limitando el consumo energético y reduciendo cada vez más la incorporación de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera. Los científicos que estudian este fenómeno afirman que en último siglo ya se observa un pequeño aumento de la temperatura, inferior en promedio a 1º C. Esto es lo que se llama *el calentamiento global de la biósfera*. Una de las catastróficas consecuencias del calentamiento global descontrolado podría ser el aumento del nivel de los mares en varios metros por fusión de los hielos, provocando así la inundación de extensas regiones pobladas del planeta. Con una elevación de tan solo 2 metros por esa causa y sumándole una fuerte sudestada, cientos de Kilómetros cuadrados de la costa bonaerense del Río de la Plata podrían quedar por varios días bajo las aguas, afectando las vidas y propiedades de centenares de miles de personas.

Ver en el Capítulo 9. Contaminación producida sobre el medio ambiente por el uso de la energía, las secciones 9.11 *El calentamiento global del planeta debido a la intensificación del efecto invernadero* y 9.12 *La importancia del aumento de la temperatura de la biósfera*.

7.6 Valores estadísticos de la energía en Argentina.

A continuación se dan las cifras más importantes tomadas del "Anuario Estadístico de la República Argentina (año) 2001", publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INDEC del Ministerio de Economía.

Para mayor información se puede acceder por internet al <http://www.indec.mecon.gov.ar> o bien recabar información por correo electrónico al ces@indec.mecon.gov.ar.

Son valores del año calendario 2000, último año del siglo XX.

Los guarismos están dados por lo menos con *tres cifras significativas (válidas)* y en la unidad que en cada caso se indica. **Combustibles**

<u>Extracción de petróleo y gas natural (en millones de m³):</u>	<u>Reservas comprobadas:</u>
Petróleo crudo 44,7	471
Gas natural (gas de pozos petrolíferos) 44.900.-	776.000.-

Las principales reservas comprobadas de petróleo y de gas se hallan en la cuenca neuquina, con la provincia de Neuquén como la principal poseedora de ambos combustibles. En segundo lugar se halla la cuenca del golfo de San Jorge (sur de la Provincia del Chubut y norte de Santa Cruz) para el petróleo y la cuenca Austral (sur de Santa Cruz y Tierra del Fuego) para el gas.

Producción de los principales derivados de la refinación del petróleo (millones de m³)

Volumen total de petróleo procesado:	30,2
Gas-oil	12,3
Naftas	7,25
Combustibles para aviones a retropropulsión (JP1)	1,93
Fuel-oil (centrales de generación eléctrica)	1,54
Lubricantes	0,34
Kerosene	0,11
Diesel-oil	0,07

Gas entregado a la red de consumidores en millones de m³.

Centrales térmicas 10.862/ Industrial 9965/ Residencial 6.967/ GNC* 1.672/ Comercial 1.053/
Entes oficiales 340/ Subdistribuidoras 337.

Total: 31.197.

* GNC son las iniciales de Gas Natural (del petróleo) Comprimido, usado en automotores. En el año 2.003 Argentina llegó a ser el primer usuario de GNC en el mundo.

Energía eléctrica. (Ver definiciones de las unidades eléctricas en sección 5.9. Unidades de energía).

Potencia instalada en MegaWatts (MW).

Centrales térmicas: Turbovapor 4.603/ Turbogas 2.804/ Ciclo combinado 5.476/ Motores diesel 433.

Centrales hidroeléctricas: 9.595.

Centrales nucleares (atómicas): 1.018.

Eólica: sin valores. (En 1.998: 14).

Total 23.930.

Energía generada en GigaWattshora (GWh).

Térmica: 46.306/ Hidroeléctrica 28.664/ Nuclear 6.177. Total generada en Argentina: 81.147.

Además se importaron (de Paraguay por Yacretá, de Uruguay por Salto Grande y de Brasil) 1.227.

Energía facturada en GigaWattshora (GWh) en los cinco principales rubros.

Industrial 26.912/ Residencial 20.710/ Comercial 12.222/ Alumbrado público 2.800/ Oficial 2.030.

Total con 5 rubros más: 67.534.

Impresiona favorablemente comprobar que Argentina pasó en sólo un siglo, el XX, desde casi no consumir energía hasta alcanzar los altos valores mostrados. Y hay que tener en cuenta que en las últimas décadas el desarrollo industrial, gran consumidor de energías en todas sus formas, fue frenado y aún hecho involucionar por ciertas políticas globalistas y aperturistas que se adoptaron. Si el país iniciara de manera acelerada un crecimiento productivo intenso, se producirían graves crisis de suministro energético en varios rubros, en especial el eléctrico. A esta deficiencia no son ajenos los actuales niveles tarifarios, que no estimulan la construcción de nuevas centrales de generación y las necesarias ampliaciones de los sistemas de transporte y de distribución eléctricos.

En el mundo, considerado globalmente, el consumo de energía por fuente en el año

1.997 fue el siguiente:

-Petróleo	39 %
-Carbón	25 %
-Gas	22 %
-Renovables (hidroeléctrica, otras)	8 %
-Nuclear	6 %

(Fuente: Libro "El abecé del Petróleo y del Gas", Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, segunda edición. Excelente fuente de información recomendada).

8. Costos de la energía.

8.1 La energía no es gratis. Tiene un costo, como toda mercadería o bien comerciable, el que depende de qué clase de energía se trata, de la relación entre la demanda y la oferta del momento, cuál y cómo es la fuente de la cual se obtiene, cómo son y operan los sistemas de transporte y distribución hasta los puntos de utilización, de qué magnitud son los impuestos y cargas de todo orden que la gravan, a cuánto monta la amortización del capital invertido por unidad producida, cuánto son los intereses financieros que corresponde cargar en los cálculos de inversión, cuáles son las utilidades exigidas por las empresas que la comercializan, etc. Sólo para dar una idea de uno de esos factores, se sabe que el monto de los capitales invertidos en la actividad petrolera es uno de los más grandes de entre todas las actividades productivas del mundo.

Los combustibles líquidos derivados del petróleo, los hidrocarburos, que son las principales fuentes de energía hoy utilizadas, tienen precios al consumidor definidos por:

-Costo del petróleo (llamado también "crudo") al entrar a las destilerías.

-Costos de producción en ellas por refinación.

-La utilidad de la compañía refinadora.

-Margen de comercialización.

-Gastos totales, aplicados a la comercialización y el transporte hasta el punto de venta.

-Bonificación bruta al expendedor.

-Impuestos en cada etapa.

El costo del crudo se expresa mundialmente en dólares por cada barril (abreviado U\$S/barril). El barril es una unidad internacional de medida, de origen inglés, para expresar los volúmenes de petróleo. Equivale a unos 160 litros. Dado que un barril es la sexta parte de un m³ con un error de sólo un 4%, para rápidos cálculos mentales se puede proceder así: dada una cantidad de barriles, por ej. 2,5 millones de barriles, para pasar a m³ simplemente se divide por 6, lo que da algo más de 0,4 millones de m³. A la inversa, 30 millones de m³ son unos 6x30=180 millones de barriles. En Argentina se usa siempre el sistema métrico, de modo que los volúmenes se expresan en m³.

Durante décadas del siglo XX el precio del petróleo se mantuvo muy bajo, pero de pronto a principios de la década iniciada en 1.971 saltó a valores antes inimaginables, y desde allí en adelante viene sufriendo oscilaciones, sin bajar nunca a los precios anteriores. Como casi toda la energía consumida mundialmente proviene del petróleo y sus derivados, esos cambios arrastran con el tiempo a los precios de la energía en general, y dado que los combustibles participan en los costos de todas las mercaderías, también desencadenan inflación. Esto también significa que la comparación de precios del petróleo (como de cualquier otro bien) entre dos fechas distintas debe necesariamente considerar la inflación.

Así fue que el precio del crudo se ha elevado desde unos dos dólares el barril en el año 1972, hasta cuarenta dólares poco tiempo antes de la invasión de los Estados Unidos a Irak en el año 2.003, uno de los principales productores del cercano oriente. Dada la íntima relación que la política económica mundial guarda con la disponibilidad de la energía del petróleo, no fue de extrañar que tan pronto como los mercados vieran que el triunfo militar de la potencia invasora estaba asegurado -de esa manera garantizando el aprovisionamiento del crudo-, los precios bajarán. Los precios de los combustibles refinados no suelen ni pueden variar al ritmo del crudo, por diversas razones, entre ellas los masivos depósitos mundiales de crudo existentes, además de aquéllos cuyo acceso peligró en cierto momento. Pero a la larga los precios de los combustibles y de todos los bienes energéticos cuya producción está ligada a ellos, tales como la energía eléctrica generada con hidrocarburos, siguen las curvas de oscilación de los precios del crudo. En épocas de descontrol económico y altísima inflación (1% por día!) se llegó al colmo, en Argentina, de que los precios de casi todos los bienes seguían el mismo porcentaje de aumento de la energía, lo que a su vez alimentaba la espiral inflacionaria.

En cuanto al gas, la ecuación que permite determinar su costo y así fijar el precio al consumidor, es más simple que la de los derivados del petróleo, en parte porque el proceso de purificarlo y extraerle los subproductos que posee es mucho más simple que la destilación del

crudo. Por otro lado, el gas surge de los pozos juntamente con el petróleo y no puede ser retenido en el yacimiento, de modo que a menos que sea conducido por gasoductos hacia los centros de consumo, debe ser venteado, esto es, liberado en la atmósfera. Como esto es peligroso por la combustibilidad del gas, se lo hace arder inmediatamente después de ser descargado en el aire. Por las razones dadas, el precio de cierta cantidad de energía obtenida por combustión del gas del petróleo puede llegar a ser 1/3 de una igual cantidad de energía dada por los más refinados derivados del petróleo, la nafta de automotor, por ejemplo. Con respecto a la energía eléctrica, la relación puede ser aún más a favor del gas, dado que gran parte de ella se genera precisamente quemando gas en las centrales termoeléctricas.

8.2. La producción mundial de petróleo tiene lugar en diversas regiones del mundo, hallándose los principales productores en los países árabes de oriente medio (31%), vastas regiones de Rusia (11 %), Estados Unidos de Norteamérica (10 %), Venezuela (5 %), China (5 %), Noruega (5 % en el Mar del Norte), Méjico (5 %). *Contra la creencia muy extendida en sentido contrario, la realidad es que Argentina aportó tan solo el 1,3 % de la producción mundial. Nuestro país no posee mucho petróleo.* El volumen anual total para todos los países productores del mundo, no solo los nombrados, fue de casi 4.000 millones de metros cúbicos. Todas las cifras son del año 1.997. Hay otro concepto importante en la explotación del petróleo, y son *las reservas comprobadas, es decir el petróleo que se ha verificado (con cierto grado de error) que todavía se halla bajo tierra y que se podrá extraer en el futuro según la demanda lo requiera*, que son lógicamente mucho mayores que los volúmenes producidos que se acaban de dar. En este sentido, los estudios indican que había en 1.997 unos 160.000 millones de metros cúbicos de petróleo disponibles para extracción en todo el mundo. Esto significa que, si se mantuvieran fijos los valores de la producción anual y las reservas, el petróleo alcanzaría para unos 40 años, que es el valor de dividir las reservas por la producción, la que a su vez es aproximadamente igual al consumo. Pero no será así seguramente, porque por un lado el consumo sube velozmente, y por otro futuras exploraciones con seguridad aumentarán esa cifra de manera continua, hasta el punto en que las reservas se vayan agotando, situación que todavía no se vislumbra cuándo tendrá lugar, dado que año tras año se descubren nuevos campos petrolíferos.

En Argentina, según lo informado en la sección 7.6 *Valores estadísticos de la energía en Argentina*, la cantidad de petróleo extraído en el año 2.000 fue de 44,7 millones de m³, y las reservas comprobadas eran de 471 m³, lo que da una duración aparente de algo más de 10 años. Pero esta duración varía continuamente a medida que se descubren nuevas reservas.

8.3 Petróleo y política. A través del presente trabajo se ha considerado la importancia de las diversas clases de energías en las sociedades humanas en el panorama mundial actual, sobre todo aquellas energías derivadas del petróleo, que son por largo las principales. Se ha visto que un país despojado súbitamente de todos los recursos energéticos que requiere, sufre un colapso total e insalvable en lo económico y en lo social. De tanto en tanto los acontecimientos mundiales demuestran que las grandes potencias, muy conscientes de esa realidad, se disputan la posesión de las áreas geográficas más ricas en petróleo y son capaces de, cuando es necesario, invadir un país para asegurarse las fuentes de hidrocarburos que sus economías necesitan impostergablemente. Si se reconoce que el petróleo es la principal fuente de energía que mueve un país avanzado económica y socialmente, ya que casi todas sus actividades dependen de la disponibilidad de energía en las cantidades necesarias y a precios aceptables, se comprende porqué se puede llegar al uso de las armas para retener una conveniente e insustituible fuente de ese recurso energético. Las continuas crisis políticas internas y de agresión externa que sufren los países árabes del cercano oriente, por ejemplo, donde se hallan los más grandes yacimientos de petróleo, se explican a través de esta realidad. En América Latina, Venezuela y México, con sus grandes reservas petrolíferas, son otros ejemplos.

Se concluye entonces que ningún país puede sobrevivir y mucho menos llegar a ser una gran nación si sufre de dependencia energética, es decir, si no tiene asegurado el suministro de energía, sea de fuentes en su territorio, sea en otros países bajo su dominio político. Hay países que han vendido o concesionado a capitales internacionales el total de sus

recursos energéticos, a veces compelidos por invocadas necesidades financieras, en general vinculadas a sus deudas externas. Esas entregas equivalen a comprometer seriamente sus futuros como naciones soberanas. Por otro lado las reservas tanto nacionales cuanto mundiales no son infinitas, y a medida que el petróleo se vaya agotando y no se puedan utilizar otras fuentes para la obtención de energía y de los productos que la petroquímica elabora, el país que caiga en esa situación se verá envuelto en graves problemas.

Algunos críticos de una política estatal de explotación racional y controlada de los recursos petroleros de un país para retardar en lo posible su agotamiento, sostienen que el elemento hidrógeno, componente del agua y de gran poder calorífico, podría cuando llegue la necesidad reemplazar al petróleo. Se olvidan por un lado que para fabricar hidrógeno se necesita energía, y por el otro que la petroquímica sería imposible con el hidrógeno.

8.4 Características del petróleo y costos relacionados. La composición del crudo no es la misma en todos los yacimientos: unos dan por refinado en las destilerías mayor cantidad de los combustibles más usados, como la nafta, el gasoil, el kerosene; se diferencian por sus contenidos de compuestos pesados; son distintos en sus contenidos de azufre, que es un elemento nocivo desde el punto de vista ecológico; etc. Cada una de esas propiedades define un costo del crudo, que a su vez se refleja luego, junto con otros factores, en el costo de los subproductos que se obtienen en las destilerías. Otro aspecto importante de los yacimientos petrolíferos es el contenido de gas en ellos y la presión a que el gas se halla. El gas es en mayor o menor proporción parte de la explotación petrolífera desde un punto de vista tecnológico, por la razón que se da en la sección siguiente. Forma también parte de la ecuación económica del petróleo por cuanto el gas es también un elemento comerciable, y en algunos países, Argentina entre ellos, es una porción significativa del balance energético nacional gracias a sus múltiples aplicaciones y a la limpieza que brinda en su manejo, desde su transporte hasta su distribución y utilización. La combustión del gas del petróleo, cuando debidamente purificado, es muy poco contaminante.

8.5 Extracción del petróleo. Extraer el petróleo que yace en un yacimiento presenta a veces aspectos de gran complejidad, lo que también influye sobre los costos del crudo producido. Se dan a continuación algunos de esos aspectos.

Riqueza.- Hay áreas petrolíferas en las que debido a la riqueza de los yacimientos, una alta proporción de los pozos perforados son explotables, es decir, que es redituable extraer el petróleo de ese yacimiento. No siempre ocurre esto.

Exploración.- Antes de iniciar la perforación de un pozo, complicados y costosos estudios geológicos han sido realizados en esa zona, de cuyos resultados surge la decisión de explotar o no el yacimiento. *Caudal.*- Hay pozos que dan más de mil metros cúbicos (1 millón de litros) de crudo por día, como el llamado Caimancito, en Salta, Argentina, descubierto por Yacimientos Petrolíferos Fiscales - YPF en la década de los setenta, hoy con mucho menor producción, dado que con el tiempo los yacimientos se agotan. Otros apenas dan unos pocos metros cúbicos diarios.

Petróleo y gas.- En unos yacimientos el crudo surge por sí solo, impulsado por la alta presión del gas acumulado entre los estratos rocosos que lo encierran. El gas surge a veces mezclado con el crudo, a veces casi solo porque se halla encerrado en cámaras por arriba de las napas de petróleo, o bien porque hay mucho más gas que petróleo. En otros yacimientos hay que bombear el petróleo, porque la presión del gas no alcanza a elevarlo, y esto puede tener un doble costo: el del bombeo por un lado y la indisponibilidad de gas para comercializarlo por el otro.

Profundidad.- A veces se halla petróleo a pocos centenares de metros por debajo de la superficie. En otros casos se tiene que perforar una cantidad de estratos rocosos hasta grandes profundidades.

Fallidos.- Para que se vea también lo riesgoso del negocio de la explotación petrolífera, hay que considerar que en algunas áreas, luego de trabajosas y profundas perforaciones con un costo de varios millones de dólares por cada pozo, se halla un yacimiento de baja riqueza y que por lo tanto no resulta de momento comercialmente explotable. En esos casos se perdió la

inversión realizada, que debe ser –y usualmente lo es- compensada con la riqueza de otros pozos.

Áreas.- La mayor parte de los pozos se perforan en áreas continentales, esto es, en la tierra, pero también muchos se hallan en el mar (explotación “off shore”), como por ejemplo en el Mar del Norte de Europa y en la plataforma continental argentina bajo el océano Atlántico Sur, frente a nuestras costas patagónicas, donde en una ocasión se alcanzaron longitudes de perforación acodada de más de 11 Km !

Agotamiento.- Cuando un pozo se agota, es decir que su producción es muy baja y no es ya rentable (no da utilidades o ganancias), es posible reactivarlo por distintos métodos hasta llegar a extraerle parte del volumen remanente, siempre a un costo mayor por m³ que cuando el pozo se hallaba en su primer período de explotación. La reactivación se logra inyectando a presión gas, agua o algún otro elemento.

Petróleo, explotación del

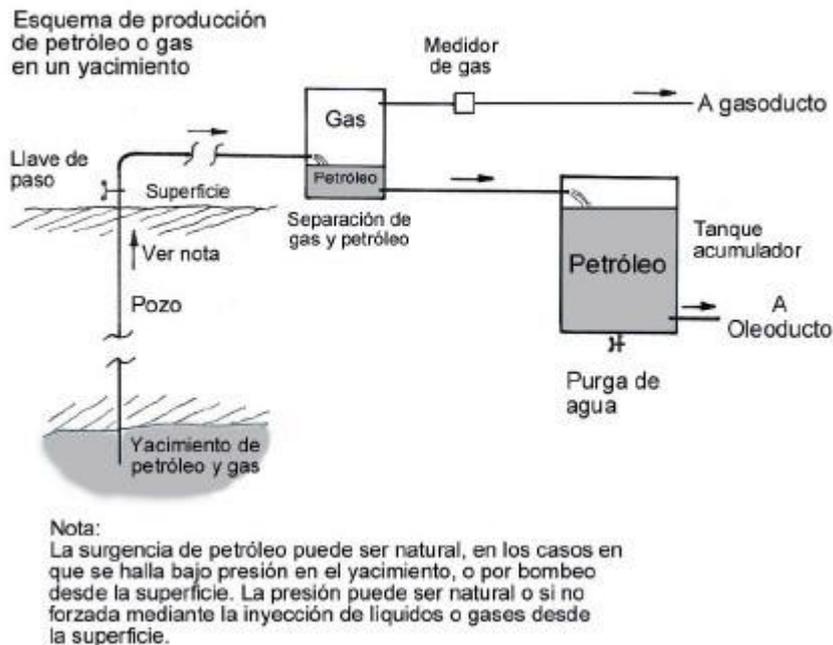


Figura 7. Petrónimo, explotación del

8.6 Los medios de transporte del petróleo extraído (llamado “crudo”), desde los pozos hasta las complejas instalaciones denominadas destilerías (donde se obtienen los combustibles especiales como la nafta, el gasoil, el kerosene y muchos otros valiosos productos), son variados, y dependen de las distancias a cubrir, los volúmenes a transportar y los costos involucrados en cada tipo de sistema de transporte factible. Cuando es posible y es conveniente para las empresas explotadoras, parte del petróleo extraído en un país se exporta, llegándose a que en los países ricos en este producto, como algunos del Cercano Oriente, la mayor parte de él se vende al exterior, dado que los consumos propios son relativamente reducidos.

En los sistemas de transporte del crudo hay una primera etapa, en la cual pequeñas cañerías llevan el petróleo que sale de los pozos de un yacimiento a una instalación donde se separa el petróleo del gas que viene mezclado con él, y luego se le extrae el agua, para enviarlo después a depósitos de yacimiento. El gas a su vez se introduce en gasoductos que lo llevan a las plantas de purificación y luego a los distintos puntos de utilización, que pueden ser centros urbanos para uso residencial, plantas petroquímicas, centrales de generación de energía eléctrica, industrias, o bien en la forma de gas comprimido en tanques como combustible para la tracción de automotores, etc. Desde aquellos depósitos del yacimiento, o

desde depósitos fuera de él, el crudo debe ser transportado a los variados puntos de procesamiento (destilerías) o de exportación. La empresa a cargo de esta etapa del transporte, ya en grandes volúmenes, por supuesto elegirá el sistema que le deje la mejor utilidad económica posible. Generalmente se usan oleoductos que, dados los volúmenes de crudo a transportar, son de mucho mayor tamaño que los existentes en los yacimientos, y están constituidos por cañerías de acero soldado en las juntas entre tramo y tramo. De tanto en tanto se intercalan poderosas estaciones de bombeo para forzar el líquido a vencer la resistencia que las cañerías de los oleoductos oponen al movimiento, debido a su alta viscosidad, resistencia que es tanto mayor cuanto mas baja es la temperatura, ya que la viscosidad varía en razón inversa con la temperatura.

En algunos casos la misma cañería se utiliza para el transporte de petróleo y de otros productos derivados de él, por supuesto de manera sucesiva, y en ese caso el ducto se denomina por esa razón poliducto. En Argentina hay miles de kilómetros de oleoductos de diversos tamaños. A veces, para cantidades no muy importantes y distancias a lo sumo de centenares de kilómetros, donde no se dispone de oleoductos y en cambio existe un ramal próximo, se usan tanques llevados sobre trenes ferroviarios de muchos vagones. En los casos en los que se debe salvar un mar o un océano, con profundidades y distancias considerables, se suelen utilizar buques tanques, en ocasiones de enormes tamaños, como algunos de hasta medio millón de toneladas de desplazamiento. El transporte hidrocarburos conlleva siempre el riesgo de un derrame del producto, con la consiguiente contaminación de tierras y/o aguas de ríos o mares. Los peores accidentes se han producido, y se siguen produciendo, cuando el derrame proviene de un barco tanque.

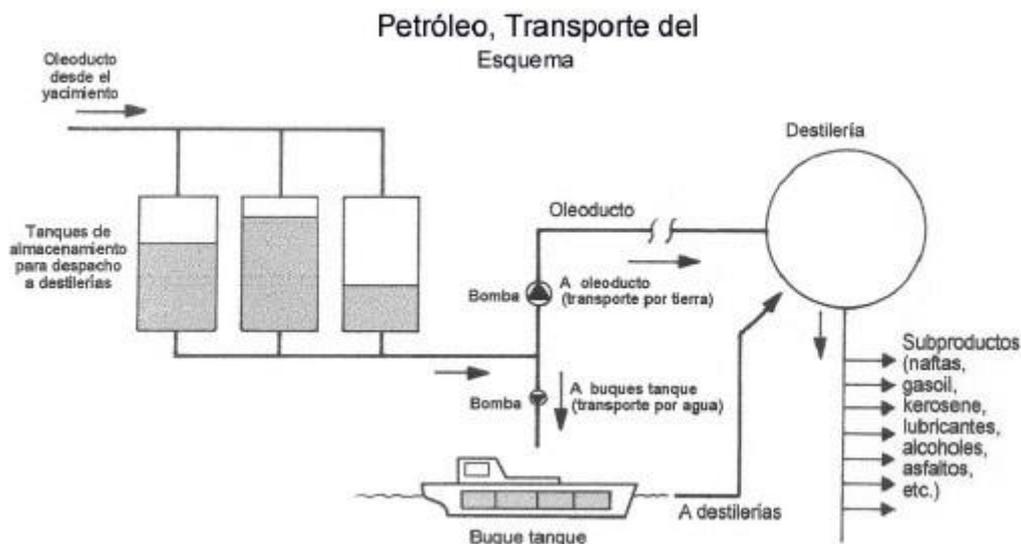


Figura 8. – Petróleo, transporte del.

8.7 Las destilerías son grandes y complejas instalaciones donde se obtiene a partir del petróleo crudo una numerosa variedad de subproductos con distintas aplicaciones, y por lo tanto variados valores comerciales, según su uso y su disponibilidad. Entre ellos y de manera principal están los combustibles, debido a su gran demanda, a sus valores de venta y en general por la importancia que tienen en la economía de los países, ya que son los que con su combustión mueven la mayoría de todas las máquinas, de manera directa o a través de su conversión previa a energía eléctrica. Las naftas y el gasoil se utilizan para generar la potencia que dan los motores de los vehículos, sean ellos automotores (excepto los de gas natural comprimido), trenes, barcos, etc. El kerosene de uso aeronáutico (JP1) es el que impulsa las turbinas de los aviones a reacción. El fueloil se quema en las calderas que producen el vapor de las centrales generadoras de electricidad, así como en las llamadas turbinas de gas (que también pueden quemar gas del petróleo). Una destilería produce muchos otros productos.

En una descripción muy simplificada, una destilería es un conjunto de grandes aparatos en general con forma de recipientes, vinculados entre sí por kilómetros de cañerías dotadas de llaves de paso, válvulas, etc., en donde a partir del petróleo crudo se van separando sus distintos subproductos, al someterlo a variados procesos, en general algo complicados. En uno, llamado destilación fraccionada, se separan distintos subproductos por destilación del petróleo a distintas temperaturas en las llamadas "torres de fraccionamiento", que funcionan como grandes alambiques. Es un proceso de separación física, no química, pues no se cambian las estructuras moleculares de los distintos componentes del petróleo crudo, y se basa en que por calentamiento de éste en un horno separado, se transforman en vapor desde los hidrocarburos más livianos hasta cierta calidad de los más pesados. Esa mezcla de vapores es enviada a la torre de fraccionamiento, que es un largo cilindro vertical dotado en su interior de platos a distintas temperaturas, que decrecen desde la base hasta la cima. Cuando el vapor de un determinado producto, ascendiendo por la torre, encuentra un plato cuya temperatura es ligeramente inferior a su temperatura de condensación, sobre el mismo se transforma en líquido, el que sale de la torre por una cañería individual, y tras algún proceso auxiliar pasa a acumularse en un tanque propio. En orden creciente de temperaturas de condensación, es decir desde el tope de la torre hacia abajo, van saliendo los siguientes productos: gas de combustión desechable (la llama que se ve en las destilerías saliendo de un caño elevado) /gas propano /gas butano /naftas /kerosene de uso aeronáutico (aviones con turbinas) /gas-oil /diesel oil /fuel oil/ etc.

Existen otros procedimientos también de naturaleza física. En cambio, en los llamados procesos de conversión química, que involucran cambios en la estructura y por lo tanto en el tamaño molecular de los hidrocarburos, se logra lo que la destilación fraccionada no puede, que es la obtención de muchos más subproductos y en las cantidades que el mercado demanda. El equipo central donde se realiza el proceso que descompone y recombina los componentes del crudo, se llama reactor, y las reacciones químicas son desencadenadas por sustancias llamadas catalíticas trabajando a altas temperaturas. Es el llamado por eso "craqueo térmico y catalítico" ("craqueo" es una españolización de la palabra inglesa cracking, que significa romper, en este caso con referencia a las grandes moléculas de los compuestos del petróleo).

Para cumplir con los fines para las que fueron diseñadas, las destilerías son plantas industriales de operación cuasi continua y totalmente automática, dotadas para ello de complicados sistemas de medición, control y alarmas, no sólo por las severas exigencias de calidad y continuidad de los complejos procesos que tienen lugar en ellas, sino por los riesgos de graves explosiones, incendios y/o derrames contaminantes. Son por estas razones muy costosas y de mantenimiento intensivo. En la Argentina hay varias destilerías: en Dock Sud (sobre la boca del Riachuelo donde desagua en el Río de la Plata), en las ciudades de La Plata, Campana, Bahía Blanca (las cuatro en la Provincia de Buenos Aires), en Luján de Cuyo (Provincia de Mendoza) y otras de menor tamaño. Algunas de ellas pueden conocerse en visitas guiadas programadas.

8.8 El gas del petróleo suele emanar en grandes cantidades de los pozos petrolíferos, y su alta presión en algunos yacimientos es la causa de surgencia natural, sin bombeo, del petróleo, con el que suele salir mezclado. Repasar sección 8.4 *Características del petróleo y costos relacionados*. Cuando la presión no alcanza, hay que elevar el petróleo con bombas sumergidas en las napas y operadas desde la superficie por medio de motores eléctricos. Este gas es también un hidrocarburo, llamado químicamente metano, formado por moléculas integradas cada una por un átomo de carbono con cuatro átomos de hidrógeno (fórmula química: CH₄). Cuando surge de los pozos petrolíferos viene mezclado con otros compuestos en las formas de vapor, gas y partículas líquidas, y es purificado para recuperar de ellos algunos de considerable valor y eliminar otros inútiles, tales como el agua y el dióxido de carbono. Tiene buen poder calorífico y posee múltiples aplicaciones en la industria, en el hogar y hasta en la propulsión de automotores como gas comprimido que reemplaza a la nafta con gran economía.

El gas del petróleo se usa en general en su estado gaseoso, llamado "gas natural", o bien como gas licuado del petróleo (GLP) vendido en garrafas de diverso contenido y al presente (año 2.003) a precios excesivos. Desgraciadamente es casi el único combustible

disponible para mucha gente de bajos recursos, a quienes no llega el suministro por la red distribuidora de gas, de modo que este abuso de precios debería ser corregido ya mismo por las autoridades responsables de controlar la comercialización de la energía.

Los usos hogareños comunes del gas de petróleo -tanto como gas de la red de distribución urbana cuanto en la forma licuada- son los de calefaccionar ambientes y cocinar alimentos. Su costo por caloría producida, cuando es tomado como gas desde la red de la compañía distribuidora, es varias veces inferior al costo de la energía eléctrica. Esto se comprende mejor cuando se piensa que en Argentina más de la mitad de la energía eléctrica es producida en centrales térmicas, es decir por combustión de hidrocarburos, en las que por lo menos la mitad de su energía térmica se pierde en la atmósfera.

8.9 La energía eléctrica usada hoy por la sociedad humana es una forma derivada o artificial de energía, en contraposición a la de los combustibles, sean ellos químicos o nucleares, ya que esta singular clase de energía no existe de por sí en la naturaleza, sino que debe ser generada mediante alguno de los procedimientos ya vistos en otras secciones de este trabajo. Se aconseja leer especialmente el Capítulo 2. Las transformaciones de la energía. Parte I y el Capítulo 3. Las transformaciones de la energía. Parte II.

¿Cómo se produce la energía eléctrica a gran escala en las centrales eléctricas? La generación de electricidad en esas plantas se basa siempre en el llamado *efecto electrodinámico*, que consiste en que cuando un conductor se desplaza dentro de un campo magnético, aparece en sus extremos una tensión eléctrica, o sea una diferencia de potencial, que se puede medir en Volts. Para obtener suficiente tensión en los generadores, los conductores se disponen en arrollamientos de muchas vueltas (llamados bobinas), colocados en ranuras que posee el núcleo de hierro del estator (la parte del generador fija al suelo) a lo largo del eje de la máquina. Un rotor de hierro, convertido en un gran imán, gira montado sobre un eje a muchas revoluciones por segundo en el interior del estator, de modo que su campo magnético corta a los conductores sobre él colocados, de esa manera generándose una tensión debido al efecto descrito antes. Esa tensión eléctrica impulsa una corriente cuando el circuito de las bobinas del estator se cierra sobre cualquier aparato que se le conecte, por ejemplo una lámpara, una estufa, un ventilador. La *potencia eléctrica* (definida como la cantidad de energía entregada en un segundo) que suministra un generador, o bien la que consume cualquier aparato que toma corriente, es proporcional al producto de la tensión eléctrica que se le aplica (expresada en Volts o Voltios, símbolo V), por la corriente eléctrica que circula a su través (expresada en Amperes o Amperes, símbolo A), y se expresa en Watts, símbolo W. Así es que si un aparato conectado a la red de una tensión de 220 V toma una corriente de 5 A, la potencia que consume es de $220\text{ V} \times 5\text{ A} = 1.100\text{ W}$. Además, cuando los aparatos que usan energía eléctrica poseen núcleos de hierro, como ocurre en los motores, las reactancias de los artefactos de luz, etc., para obtener la potencia correcta hay que multiplicar el resultado de ese producto por un coeficiente llamado factor de potencia, que depende de la clase de aparato (valores típicos entre 0,2 y 1,0; el promedio de la red de distribución de la compañía es alrededor de 0,8). Las unidades eléctricas se explican en el Capítulo 5. Las transformaciones de la energía. Parte II, sección 5.9 *Unidades de energía*, que se aconseja leer.

Una característica negativa de la energía eléctrica -e insalvable hasta hoy- es que no es acumulable como tal, lo que sí ocurre con los combustibles químicos y los "combustibles" nucleares, excepto en mínimas pero muy útiles cantidades (como en las pilas y los acumuladores eléctricos, y por cortos períodos en los condensadores). Esta imposibilidad de poder acumularla en grandes montos, es una de las causas de que cuando falta generación local y/o recepción de energía eléctrica desde otros lugares para reemplazarla, se produzcan "apagones", es decir grandes cortes de energía.

Tal como ocurre en otros extensos países, en Argentina la energía eléctrica se genera en numerosos puntos de su vasto territorio -a veces muy distantes entre sí- por medio de centrales térmicas (quemando combustibles), hidroeléctricas (aprovechando la energía potencial gravitatoria del agua de un río al ser embalsada por medio de un dique o represa, para levantar su nivel) o bien nucleares (produciendo vapor por medio de un reactor, donde la energía nuclear se transforma en calor a través de un proceso de fisión de los núcleos atómicos). La energía eléctrica generada es luego introducida en cada uno de los puntos de

generación al *sistema eléctrico nacional interconectado*, en Argentina oficialmente llamado *SADI- Sistema Argentino De Interconexión*. Éste se define como el complejo conjunto integrado por todas las plantas generadoras que aportan energía al sistema, las líneas de transporte de esa energía en alta tensión hacia los grandes centros de consumo y los sistemas de redes o mallas que finalmente la distribuyen en baja tensión entre los usuarios. El sistema nacional de transporte forma una vasta red, proyectada de modo tal como para que en lo posible cada gran centro de consumo sea alimentado a través de por lo menos dos líneas provenientes de distintos centros de generación.

¿Qué ventajas tiene la interconexión del sistema eléctrico del país por medio de ese sistema nacional de transporte? Dos ventajas importantes son: 1) permite que por un lado se reduzca mucho la posibilidad de que ocurra un corte de energía en una vasta área del sistema nacional interconectado, cuando una parte del sistema de transmisión y/o la generación local y/o lejana que alimenta esa área sale de servicio por alguna causa, ya que el área con suministro insuficiente puede entonces ser alimentada de inmediato desde otro punto por medio de una segunda o tercera línea, evitando así largas y costosas interrupciones; 2) posibilita que aun cuando los costos locales de generación sean dispares, los precios de la energía comprada en los distintos puntos de consumo no sean muy diferentes, pues la energía circula por todo el vasto sistema.

Un sistema nacional de transporte de energía no está solamente constituido por extensas líneas de transmisión o transporte en muy alta tensión (500 mil Voltios, o de manera abreviada 500 KV en Argentina), sino también por una cantidad de diversas estaciones que según las funciones que cumplen se denominan o transformadoras, o de maniobra, o de compensación. Esas estaciones están formadas por complejos conjuntos de aparatos e instrumentos eléctricos, con una inmensa longitud de conductores que conectan unos con otros, todo esto haciendo posible las mediciones, las protecciones y los controles necesarios para que el sistema de transporte opere con eficacia y seguridad. Las *estaciones transformadoras* elevan o reducen las tensiones eléctricas según sea necesario (en los lugares de generación se elevan las tensiones de los generadores a los valores de las líneas de transmisión, en los de consumo se reduce a los valores de distribución), lográndose estos cambios por medio de grandes máquinas estáticas llamadas transformadores. Las *estaciones de maniobra* son para poder realizar operaciones de corte y conexión de circuitos según se requiera, para dar mayor flexibilidad y confiabilidad al sistema de transporte. Finalmente, las *estaciones de compensación* permiten que los sistemas de transporte de energía eléctrica sean estables a pesar de todas las alteraciones que podrían perturbar su funcionamiento.

Los sistemas eléctricos extensos, tal es el caso del SADI, están sujetos a una cantidad de contingencias que tornan por momentos problemática su operación estable. A veces la caída de un poderoso rayo sobre un conductor puede desencadenar una secuencia de eventos que termina en una masiva desconexión de áreas de suministro. Lo mismo ocurre con la falla de un interruptor, la caída de una torre, el desprendimiento de un conductor de la cadena de aisladores que lo sostiene. Complejo tema éste de la confiabilidad de los sistemas eléctricos extensos. A veces, pesar de todas las medidas de seguridad que se toman, al fallar ciertos dispositivos de protección y no actuar correctamente el personal clave a cargo del control, se han desencadenado enormes y catastróficos apagones, por ejemplo el famoso caso ocurrido el miércoles 10 de noviembre de 1.965 en el noreste de los Estados Unidos de Norteamérica, que afectó unos treinta millones de personas al mismo tiempo -la población argentina de entonces, aproximadamente-, cubriendo un área que se extendía desde las cataratas del río Niágara hasta las proximidades de Washington. En agosto del 2.003 otro masivo apagón afectó vastas zonas del mismo país, también en el noreste, señalándose como causa en este caso la vetustez del sistema, o sea su inadecuación a las necesidades del momento. A menudo las interrupciones masivas del servicio eléctrico ocurren en días y horas del verano en que se dan altas temperaturas, situación que lleva a un elevado consumo eléctrico para combatir el calor, especialmente por medio de acondicionadores de aire, que como agravante funcionan con bajos factores de potencia, que suman una potencia aparente tal que el sistema de generación no puede soportar.

¿Porqué se usan altas tensiones en las líneas de transmisión de energía eléctrica? El uso de altas tensiones implica que para una dada potencia transportada, la intensidad de la

corriente es menor que la que sería en bajas tensiones. Recordar que la potencia eléctrica es el producto de la tensión en Volts por la intensidad en Ampers, y es lógico entonces que si se aumenta la tensión, la intensidad para el transporte de una determinada potencia se reduce. Esto permite entonces el uso de conductores de menor sección manteniendo las pérdidas por calentamiento bajas, con la consiguiente reducción en el peso de los conductores y por lo tanto también de su costo. Por otro lado, también se logra un ahorro considerable en el costo de las estructuras que soportan los conductores, que pueden de esa manera ser mas livianas y en menor número. Con estos ahorros de costos, uno constructivo (en conductores y torres) y el otro operativo (menores pérdidas por calentamiento), se reduce entonces el costo de la energía eléctrica que se desplaza por todo el sistema, en consecuencia también su precio de venta al consumidor.

¿Qué ente administra y controla operativamente este complejo sistema eléctrico nacional interconectado, y cómo lo hace? A fin de asegurar el suministro más confiable posible en todos los puntos de la red, y que el precio de la energía eléctrica al consumidor sea el mínimo técnicamente factible para cualquier magnitud de la demanda del sistema en cada instante, un organismo de control solicita a las empresas generadoras que usen, de todos los disponibles en cada momento, los equipos generadores que dan la energía más barata (\$/KWh), que en general son los de mayor rendimiento. A ciertas horas y si la situación hídrica de los embalses lo permite, la energía más barata es la suministrada por las centrales hidroeléctricas. La electricidad de origen nuclear es provista de manera continua con la misma potencia, dado que los reactores no pueden funcionar con variaciones de potencia. De la óptima combinación de las distintas centrales generadoras se logra el mínimo precio posible de la energía al usuario. En Argentina ese organismo se llama *CAMMESA*, sigla de *Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima*, y es el que centraliza todas las operaciones de compra y venta de energía eléctrica al por mayor en el país.

Para hacer posible sus funciones esta empresa privada mantiene un complejo sistema automático de mediciones de las magnitudes eléctricas esenciales, en todos y cada uno de los puntos importantes del sistema eléctrico interconectado, concentrándose la información en un centro de mediciones. De las magnitudes medidas resultan los pagos realizados a las empresas generadoras por el monto de la energía entregada. La operación del sistema se ejecuta con una rigurosa programación hecha con suficiente anticipación, y cuando una de las empresas incumple una de sus obligaciones es penalizada, sin poder alegar que desperfectos técnicos propios se lo impidieron. Entre las tantas consecuencias que se dan cuando el suministro no es el convenido (que en general derivan en la aplicación de sanciones por parte del ente citado a las empresas responsables), como las más comunes están los perjuicios ocasionados a los usuarios o entes a los que se les suministra energía por contrato, debidos a la no entrega de la cantidad comprometida (el llamado costo de falla). Los usuarios pueden también demandar a las empresas distribuidoras de energía por interrupciones del suministro y/o por los daños sufridos en aparatos eléctricos cuando se producen sobretensiones o bien caídas de tensión en la red. En muchos casos la responsabilidad por fallas de suministro son imputables a las empresas transportistas o a las distribuidoras y no a las generadoras. *El mercado eléctrico mayorista, es decir el que comercia grandes bloques de energía, tiene hoy en Argentina cuatro agentes operadores: a) las empresas generadoras de energía eléctrica (generadores), b) las que la transportan a los distantes centros de consumo (transportistas), c) las que la distribuyen (distribuidores) y d) los que la consumen en gran escala (grandes usuarios).* Por aparte se hallan los consumidores de electricidad en pequeña escala, tales como los usuarios llamados residenciales, que comprende a casas y departamentos. El régimen privado actual ha reemplazado desde principios de la década de los años 90 al sistema anterior, que estaba constituido por varias empresas estatales, cada una desempeñando las funciones a), b) y c) en distintas combinaciones. Hoy los agentes operan en general separadamente. Todas estas empresas, en tanto perteneciendo al sistema nacional interconectado, están como ya se dijo regidas por las normas operativas implantadas por CAMMESA. La ley que estableció el nuevo ordenamiento del sistema eléctrico argentino, cambiando radicalmente el régimen estatista anterior fue la número 24.065 y su decreto reglamentario. A raíz de este cambio de régimen, desde lo estatal a lo privado, surgieron de pronto una cantidad de empresas de capitales mayormente internacionales, con alguna

participación nacional, en las distintas categorías a), b) y c). En los ámbitos de las provincias han quedado aún sistemas de diversa composición a cargo de los respectivos estados provinciales, a veces combinados con sistemas privados. Por otra parte en cuanto a generación hay importantes excepciones constituidas por las dos grandes centrales de generación hidroeléctrica de Salto Grande (Argentina-Uruguay) y Yacyretá (Argentina-Paraguay), por ser internacionales, y las dos centrales nucleares de Atucha I y Embalse, administradas por el ente estatal Nuclear Argentina Sociedad Anónima - NASA.

A fin de asegurar el cumplimiento de la legislación vigente sobre el tema de la energía eléctrica y de los contratos de concesión de los servicios eléctricos a las empresas involucradas, existe un organismo federal llamado Ente Nacional Regulador de la Electricidad - ENRE, que debe todavía asumir a pleno sus funciones. A su vez, existen entes provinciales similares.

La decisión de construir las instalaciones para explotar uno de los servicios de generación, transporte y distribución de energía eléctrica, y la suerte del emprendimiento es responsabilidad de la empresa interesada. Pero tanto el ENRE como CAMMESA deben ser consultados al respecto, y la autorización para encarar el proyecto se toma luego de lo que se llama una audiencia pública, donde todas las partes afectadas por la iniciativa deciden o no su ejecución.

Los precios de la energía producida por los generadores -los agentes a)- son fijados por ellos mismos, como ya se dijo, y CAMMESA convocará a estos agentes a conectarse a la red según los precios que ofrezcan y conforme a un cronograma previo. Los grandes usuarios -los agentes d)- pueden comprar a los generadores directamente la energía que necesiten formalizando con ellos los correspondientes contratos, energía que recibirán a través de la red de la empresa distribuidora de la zona donde se hallan, la que a su vez hará sólo los cargos correspondientes por el uso de sus instalaciones. Los transportistas a su vez suelen cobrar un monto fijo, llamado canon, por la energía que transportan, independientemente de su volumen. El precio por una unidad de energía eléctrica que un consumidor le paga a la empresa distribuidora que se lo suministra, es lo que se llama tarifa eléctrica. Hay varias categorías de tarifas. Se expresa en \$/KWh (pesos por cada Kilowatt o Kilovatio hora). Es un valor que resulta de sumar el costo del KWh que la distribuidora compra y recibe desde los generadores, el costo de operación de su sistema de distribución, su utilidad, los impuestos, etc. Esos valores pueden cambiar ligeramente en el tiempo y hasta con las horas de consumo para los grandes usuarios, prácticas todas ellas bien establecidas y enunciadas. El tema tarifas es suficientemente complejo como para haberse constituido ya en toda una especialidad.

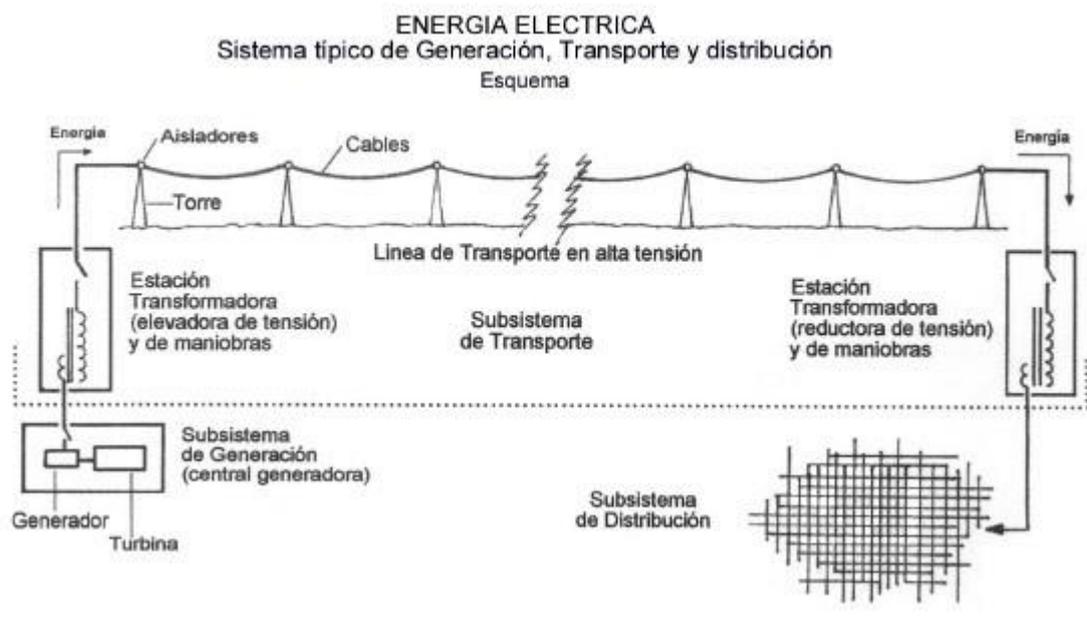


Figura 9 - Sistema de generación, transporte y distribución de energía eléctrica.

9. Contaminación producida sobre el medio ambiente por el uso de la energía.

9.1 General. El planeta Tierra se formó hace unos 4.000 millones de años, no mucho después que naciera nuestra estrella el sol, y hasta el momento no se conoce en el universo uno similar y que se halle habitado por las maravillosas formas de vida que pueblan al nuestro.

En los últimos tiempos, y hasta fines del año 2.002, con refinadísimas técnicas los astrónomos han descubierto un centenar de planetas en órbita alrededor de un número algo menor de estrellas, todas situadas a distancias relativamente no muy grandes en torno de nuestro sistema planetario solar. A estar de los complicados análisis científicos realizados caso por caso, aún no concluidos, difícilmente en alguno de esos planetas podría existir vida aunque mas no fuera en sus formas más primitivas, debido a sus adversas características propias, su excesiva proximidad o lejanía a la estrella que orbitan, el tipo de esas órbitas, las muy débiles o por el contrario mortíferas radiaciones que ella u otras estrellas próximas emiten, etc.

No existe hasta hoy prueba alguna de que exista vida inteligente fuera de la Tierra, ni siquiera de que exista vida aún en las formas mas primitivas que ella puede tomar. Los millones de testimonios registrados acerca de visitas de seres extraterrestres a nuestro planeta, con enormes cantidades de secuestros “cometidos para estudiar a los seres humanos”, han sido repetidamente analizados e interpretados por científicos especialistas en el tema, por psicólogos, sociólogos y en muchos casos hasta por psiquiatras, porque las patologías de algunos testigos así lo requerían. No se ha podido hasta el presente comprobar la veracidad ni de uno solo de esos testimonios. Tampoco hay pruebas históricas de sus visitas a la Tierra, ni vez alguna se han hallado restos de naves o tripulantes que podrían haber llegado desde el cosmos. El gastado argumento ovnista de que las pruebas son celosamente ocultadas por los gobiernos, es por lo menos ridículo. Jamás en la historia de la humanidad un suceso de esta magnitud, ni de mucha menos, ha podido ser mantenido en secreto.

Pero los resultados negativos de esas investigaciones no demuestran que no existen o hayan existido civilizaciones extraterrestres, aún mucho más avanzadas que la nuestra en todos los campos, tanto en lo social cuanto en sus conocimientos científicos y tecnológicos. No hay principio o razón alguna para negar esa posibilidad, aunque su probabilidad de ocurrencia sea quizás muy baja. Las investigaciones en este sentido avanzan vertiginosamente, y quizás mañana o en un milenio, no sabemos, la raza humana pueda celebrar con júbilo la comprobación de que no estamos solos en el universo.

El tema de la vida extraterrestre se ha introducido en este texto para, no sólo apoyar la idea de que nuestro planeta es una maravilla en el inmenso espacio cósmico y que por lo tanto debe ser mantenido vivo e inalterado con extremo cuidado, sino también porque tiene una fuerte relación con la energía, aunque a primera vista pareciera que no. De entre los tantos puntos que respaldan esta afirmación, mencionemos a continuación para empezar y con relación al tema de la vida extraterrestre, sólo dos aspectos energéticos de los viajes interplanetarios que podría realizar la humanidad u otras civilizaciones. A) uno de los principales obstáculos para viajar por el espacio a distantes estrellas en búsqueda de otras formas de vida inteligente, es la por ahora insalvable dificultad de que la nave cuente con las poderosas fuentes de energía necesarias para acelerarla hasta las grandes velocidades requeridas, cercanas a la velocidad de la luz, y luego frenarla al acercarse al objetivo, si es que los viajes deben ser realizados en el período de una vida humana. B) la forma más probable por la que quizás nos enteremos de que no estamos solos en el universo, más que por visitas de extraterrestres o exploraciones de nuestra parte, es que un día se capten señales codificadas enviadas por otras civilizaciones, que serán, por lo que sabemos hoy, de naturaleza electromagnética, una forma esencial de transmisión de información a través de la energía. En ambos campos se trabaja asiduamente en importantes centros de investigación del mundo.

Si nuestro planeta Tierra es como un milagro en el cosmos, y por ahora el único lugar donde podemos vivir, ¿no tendríamos todos, especialmente los responsables con poderes de decisión, que cuidarlo como un tesoro vital e irremplazable?

En aquel remoto pasado, hace unos cuatro mil millones de años, nuestro planeta Tierra fue gestado -como los demás del sistema solar- algunos centenares de millones de años después que el sol, debido a la contracción gravitatoria de uno de los tantos cúmulos residuales de materia ya en órbita alrededor de nuestra estrella, a partir de la nebulosa madre que dio lugar a la creación de todo el conjunto. Ninguna de las formas de vida que aparecieron y evolucionaron en la superficie de este pequeño planeta azul durante ese largo período -la tercera parte de la edad de todo el universo si la teoría del Big Bang es cierta-, dañaron o pusieron en peligro su pura y singular naturaleza. Los cambios ocurrían por obra de los agentes naturales de origen gravitatorio, atmosférico, volcánico u oceánico, y cada tanto por obra del impacto de asteroides y cometas de todo tamaño. Ese paraíso natural duró hasta que hace tan sólo unos pocos siglos el hombre comenzó a explotarlo intensivamente para un mejor vivir, con la ayuda creciente del conocimiento científico aplicado en su faz tecnológica, pero casi sin control alguno para evitar o minimizar los daños que así se producían. La alteración y destrucción de los sistemas ecológicos que integran la biósfera comenzó entonces y se agrava año tras año de forma acelerada, sin que se vislumbre claramente que esa conducta suicida de la humanidad tenga fin en el corto plazo.

9.2 Cuanto más tecnología sin controles, mas destrucción. *Casi todas las actividades humanas acarrearán daños sobre algún sistema biológico del planeta, y en general los daños son tanto mayores en profundidad y extensión cuanto más avanzados son los medios tecnológicos utilizados en esas actividades, sobre todo cuando las autoridades responsables de cuidar esos sistemas no ejercen regulación alguna que proteja el ambiente y la salud humana.*

Para satisfacer sus crecientes necesidades y deseos, el hombre fue tomando a ritmo creciente recursos de la tierra, y de esta manera fue alterando la fisonomía del planeta, al tiempo que también desplazaba de sus ambientes naturales a muchas especies animales, llegando a aniquilar una cantidad de ellas. *El proceso destructivo se fue acelerando desde entonces porque además la población mundial ha crecido desmesuradamente, en virtud de adelantos tecnológicos y sobre todo por la ausencia de elementales controles de natalidad, que los gobiernos nacionales y entes mundiales deberían ejercer.*

9.3 Cuanto más energía se consume, mayores son los daños. *Cuando las actividades humanas incluyen alguna forma de producir o consumir energía intensivamente, los daños ocasionados son los mayores. Esto es así por cuanto para acceder a las fuentes energéticas, extraer las diferentes energías que ellas brindan y finalmente utilizarlas (por ejemplo para el transporte y la generación de energía eléctrica), se producen elementos que dañan la naturaleza, incluyendo al hombre, en algún aspecto.*

Si se analiza el crecimiento mundial de la producción y el uso de las distintas formas de energía en los dos últimos siglos y se coteja con la destrucción del medio ambiente ocurrida en ese lapso, se confirma más allá de toda duda la validez del título de esta sección.

El continente europeo ha sido históricamente el área geográfica donde con mayor intensidad se explotaron las fuentes naturales, sobre todo a partir de la revolución industrial iniciada en el siglo XVIII con el advenimiento de conocimientos científicos y tecnológicos. Como puede comprobarse por crónicas de cada época, esas fuentes naturales de recursos, fueran ellas ríos, lagos, costas o bosques, estaban en un estado de pureza y abundancia relativas al presente mucho mayores. Hoy, y cada año más, los cursos de agua, los lagos y el mar próximos a las costas de Europa muestran una lamentable contaminación producto indudablemente de las actividades tecnológicas y hasta del vertido en ellos de los mismos detritos humanos. El grueso de los bosques europeos ha desaparecido, y junto con ellos preciosas formas de vida. Las aves, los lobos y hasta los osos que los abuelos decían haber visto con sus ojos alrededor de pueblos y ciudades a fines del siglo XIX y principios del XX, ya casi no existen y, peor aún, los europeos de hoy no se sorprenden de ello dado que no conocieron la naturaleza de aquellos años.

9.4 Contaminación producida por cada fuente de energía. Se listan a continuación una cantidad de actividades vinculadas con la energía, que producen en mayor o menor grado cierta contaminación y/o alteración de los ecosistemas afectados.

a) *Para obtener madera* a fin de disponer de calor para calefacción, construir viviendas, establos, cercas, puentes, moblaje, para cultivar y elaborar alimentos para así incorporar a sus cuerpos energía alimenticia, para producir papel con la celulosa vegetal, etc., los hombres han destruido por talado o quemado enormes superficies de bosques naturales, provocando de esta manera también la desaparición de gran parte de la fauna que las poblaba. Y sigue el proceso día a día, sin que los responsables de detener tal destrucción entiendan que, entre otras razones para ponerle término, nada menos que el oxígeno que permite la vida sobre el planeta es producido por los bosques. El gigantesco y maravilloso Amazonas es un triste ejemplo. Los bosques y la fauna de Europa han sido gravemente diezmados por la misma causa. b) *La extracción de carbón mineral o hulla en las minas*, sobre todo en las explotaciones superficiales (“a cielo abierto”), ha contaminado y desfigurado extensas regiones. c) *Las explotaciones petrolíferas*, desde las perforaciones de los pozos hasta la utilización de los tantos subproductos que el petróleo brinda, han contaminado y siguen contaminando las tierras, la atmósfera y, con sus derrames, incluso los mares y sus costas. d) *El tendido de oleoductos y gasoductos*, a veces de miles de kilómetros, ha alterado extensos ecosistemas debido a los trabajos de construcción, a las pérdidas de fluido o a la simple división de la tierra a ambos lados de los conductos, creando en muchos casos un obstáculo al libre movimiento de valiosas especies animales, desde mamíferos hasta insectos. e) *Las destilerías de petróleo y las plantas petroquímicas* arrojan diariamente al aire y al agua de ríos, lagos y mares cantidad de desechos que son tóxicos para animales terrestres, aves y peces. f) *Las plantas de elaboración de productos químicos*, que requieren considerables montos de energía y emiten residuos por las reacciones que allí tienen lugar, también envenenan las tierras, el aire y las aguas. g) *Las plantas termoeléctricas*, es decir aquellas donde se produce energía eléctrica con la quema de combustibles, cualquiera que ellos sean, contaminan especialmente la atmósfera con sus emanaciones, a más de la contaminación que la extracción y el transporte de esos combustibles produce. Entre otros efectos nocivos, han ocasionado la muerte de millones de ejemplares de árboles que poblaban hermosos bosques del hemisferio norte, como consecuencia de la llamada “lluvia ácida”. (Causa: muchas centrales generadoras arrojan a la atmósfera compuestos de azufre que al combinarse con la humedad del aire forman ácidos, los que retornan a la tierra arrastrados por la lluvias). h) *Hasta las mismas plantas hidroeléctricas*, consideradas por mucho tiempo como inocuas, alteran los cursos de los ríos, pueden reducir hasta la extinción a algunas de sus especies ictícolas, perturban su navegación, crean extensos embalses donde se desarrollan peligrosas especies de parásitos, etc. i) *El Transporte*. Ver sección 9.5. j) *Las plantas nucleares*. Ver sección 9.6.

9.5 El transporte tiene también importante participación en los daños que produce al medio ambiente el consumo energético. Las formas de contaminación mencionadas en la sección anterior se producen en general en zonas despobladas, de modo que en el caso de la contaminación atmosférica, en cierta manera ella se atenúa al dispersarse los agentes contaminantes en grandes masas de aire antes que alcancen las ciudades. Pero hay una imprescindible actividad humana en la que se queman combustibles de manera masiva en los grandes centros urbanos, con enorme contaminación del aire. Es el transporte en general, especialmente por medio de los automotores en que se desplazan por las grandes ciudades millones de personas y miles de toneladas de materiales diariamente, sea en vehículos privados o del servicio público. Para generar en sus motores de combustión interna la energía necesaria para la tracción, los vehículos utilizan combustibles hidrocarburoados obtenidos a partir del petróleo, que al quemarse producen una cantidad de gases y polvo muy perniciosos para el sistema respiratorio de personas y animales en general. Incluso algunos de esos gases, bajo la luz solar, dan lugar a compuestos ácidos también altamente dañinos. Asimismo, en los aeropuertos próximos a ciudades los aviones comerciales de línea o cargueros, impulsados en general por turbinas, degradan el aire que se respira durante el tiempo en que dichas plantas propulsoras están operando en tierra. Y cuando las aeronaves toman vuelo

contaminan el aire en la altura y son sindicadas como una de las causas del deterioro de la capa de ozono, el elemento gaseoso que atenúa las radiaciones ultravioletas impidiendo así que ellas destruyan la vida terrestre. En la sección 9.13 *La disminución de la capa de ozono en la atmósfera*, se trata este problema en cierto detalle.

El transporte ferroviario -cada vez menos usado en la Argentina empobrecida mientras su utilización crece en países ricos- es en general más económico que el transporte automotor cuando se trata de llevar cargas a larga distancia y cuando es necesario transportar grandes masas de pasajeros en áreas urbanas. La primera actividad se cumple con trenes de superficie con tracción por motores de combustión interna o por sistemas eléctricos; la segunda con trenes de superficie o subterráneos. Las unidades que se usan para calcular los costos son: para las cargas, pesos por cada tonelada.kilómetro (\$/t .Km) y para el transporte de personas, pesos por cada pasajero.Kilómetro (\$/pas.Km).

Cuando se habla de *costos* del transporte y se compara el tren con los automotores, se dejan a veces tendenciosamente de lado los aspectos contaminantes de cada uno, que en una comparación completa son importantes. Por varios motivos, el transporte ferroviario es menos degradante del medio ambiente que el automotor, fundamentalmente en cuanto a la emisión de elementos contaminantes a la atmósfera por t.Km o por pasajero.Km. En cuanto al ruido que produce un tren pasante, si bien es intenso, dura muy poco tiempo, contra el ruido irregular menor de los automotores, que circulan continuamente por calles y autopistas. No hay que perder de vista asimismo que las líneas ferroviarias pueden ser electrificadas, como de hecho ya se usa en los trenes subterráneos y muchos de superficie o elevados de las ciudades, gracias a lo cual la contaminación química por el lugar donde circulan los trenes es casi nula. Se podrá argüir que la electricidad para alimentar los trenes eléctricos es generada en centrales que también contaminan; la réplica es que en las centrales la emisión de contaminantes, aún siendo importante, es mucho menor por unidad de energía entregada que en los motores de los automotores, que además introducen muchas otras formas de contaminación que no están presentes en los trenes.

Las ventajas del transporte ferroviario sobre el automotor aumentan cuando se computa el tema *accidentes*, en especial cuando ellos involucran a personas, como ocurre casi siempre, que las estadísticas muestran son muchísimo más frecuentes en el transporte automotor. El aspecto más importante de las pérdidas ocasionadas por los accidentes del transporte son en el aspecto humano, y se expresan en [(muertos + heridos) por cada 100 millones de pasajeros.Km]. Por último, el tema *velocidad* del transporte, que se arguye con frecuencia como ventaja para el automotor, parece que no es problema en países del primer mundo, donde una alta proporción de las cargas son enviadas por tren y donde existen trenes de pasajeros que corren entre los 150 y los 400 Km/h, reemplazando ventajosamente en muchos casos al transporte aéreo en cortas distancias, y en especial con mal tiempo.

9.6 Centrales nucleares de generación eléctrica. Son las que menos contaminan cuando funcionan dentro de las estrictas normas que organismos internacionales de seguridad han establecido al efecto, ya que no emiten compuestos químicos que contaminen la atmósfera, las aguas o las tierras, como ocurre con las centrales termoeléctricas. Pero por otra parte, estas centrales crean el difícil problema de qué hacer con los residuos altamente radioactivos que su operación genera, al tener que extraerse y darle algún destino no peligroso al "combustible" nuclear ya agotado (es decir, que ya no puede dar más energía térmica) en el reactor. Los materiales radiactivos son peligrosos porque sus emisiones son altamente penetrantes y descomponen los tejidos vivos, desencadenando tarde o temprano tumores cancerosos. Además, el lapso de nocividad es muy largo, aunque se atenúa a través de los años. A los residuos radiactivos se los suele encapsular en contenedores especiales de acero y otros materiales, que garantizan su estanqueidad por mucho tiempo. El problema surgirá -¿de aquí a siglos, milenios?- cuando los recipientes se perforen por acción química o sean aplastados por movimientos tectónicos, y esos materiales comiencen a derramarse e incorporarse a la tierra, las aguas e incluso la atmósfera.

Aún cuando se resuelva ese problema, quedan todavía otros dos de remota pero no imposible ocurrencia: a) que se pierda el dominio del reactor en operación por fallas en los dispositivos de control, provocando un masivo escape de material radiactivo a la atmósfera, que

normalmente terminará depositándose en la tierra y las superficies de agua, sometiendo quizás a numerosas poblaciones a su letal efecto. Pero también es cierto que mientras miles de grandes centrales termoeléctricas e hidroeléctricas han estado contaminando sin pausa el medio ambiente de diversas formas -e inclusive han protagonizado catástrofes con la pérdida de miles de vidas- durante más de cuatro décadas de operación hasta sumar centenares de centrales atómicas hoy en operación en muchos países (dos de ellas en Argentina), un accidente de esta gravedad ocurrió una sola vez (Chernobyl, Ucrania, se dice que con consecuencias catastróficas); b) que materiales fisionables sean sustraídos de las centrales y luego utilizados por terroristas para la fabricación de armas nucleares de destrucción masiva, sean ellas bombas termonucleares o dispositivos que dispersan esos materiales altamente radiactivos sobre vastas áreas pobladas.

9.7 Contaminación radioeléctrica. Ver Capítulo 1. Qué es la energía, sección 1.2.4 *Energía que irradian los cuerpos.*

La física del campo electromagnético no es simple, pero se dará aquí una idea aproximada de su naturaleza. Cuando por un conductor circula una corriente eléctrica, alrededor de él se establecen dos campos de fuerzas: a) el campo eléctrico, dado por la diferencia de potencial eléctrico entre los extremos del conductor, que es el que impulsa la corriente o sea el desplazamiento de electrones por el conductor; b) el campo magnético que aparece siempre que una corriente circula por un conductor. El funcionamiento de casi todos los aparatos que sustentan nuestra civilización científica-tecnológica actual -es decir aquellos que generan o de una manera u otra utilizan energía eléctrica-, implica la utilización de esos dos campos de fuerzas. La intensidad de cada uno de esos campos es proporcional a la intensidad de la corriente, y es distinta en cada punto del espacio alrededor del conductor según sea la distancia y posición del punto con respecto al conductor. Cuando la corriente mantiene una intensidad constante, esos campos son también de intensidades constantes. Pero si la intensidad de la corriente varía, como ocurre en el caso típico de la corriente alterna, donde el movimiento de electrones cambia de sentido (y por lo tanto también de intensidad) periódicamente, los campos cambian también de sentido y de intensidad acorde con las variaciones de la corriente eléctrica.

Ahora hagamos un importante experimento imaginario. Supongamos un punto donde hay un elemento conductor de electricidad, y otro punto situado a unos 300.000 Km del primero, en donde podemos medir en cualquier instante las intensidades de los campos eléctrico y magnético producidos por una corriente eléctrica circulando por el distante conductor. La pregunta clave es: las variaciones de esos campos *en el segundo punto* ¿son simultáneas con las del conductor? La respuesta es no, porque la variación de los campos no se propaga a una velocidad infinita, sino a un valor finito que es de unos 300.000 Km/segundo. Esto significa que cualquier variación del campo electromagnético en el conductor originario será percibida en el punto de observación un segundo después. Lo interesante es que esa velocidad es la velocidad de la luz en el vacío. ¿Porqué esa coincidencia? Porque la luz también es un campo electromagnético que se propaga por el espacio. Pues bien, está demostrado que también las ondas de la radiotelefonía, la televisión, el calor, la luz, los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma, están todos constituidos por campos eléctricos y magnéticos superpuestos que se transmiten a la velocidad de la luz, el valor dado antes. Sus efectos sobre la vida animal y vegetal de la Tierra son muy variados y dependen de su *frecuencia* (ver definición más abajo). La representación gráfica de cada tipo de radiación en función de su frecuencia, se llama *espectro electromagnético*. Algunas radiaciones son beneficiosas y sin ellas no existiría la vida (radiación infrarroja o calor, luz y rayos ultravioleta de intensidad moderada). Las de más alta frecuencia, en cambio, pueden destruirla (rayos X, rayos gamma).

La explicación íntima de los orígenes y la naturaleza de la radiación electromagnética está dada por la teoría de la mecánica cuántica. La propagación de ella en el espacio había sido develada antes por la teoría de la relatividad. Ambas son inabordables por su complejidad en este texto de carácter elemental. Si al lector le interesan estas teorías, puede acceder a textos de divulgación impresos o electrónicos.

Debido a que se trata de dos campos de fuerzas superpuestos, uno eléctrico y otro magnético, al conjunto se lo llama *campo electromagnético*. *Todas las radiaciones contenidas en el espectro electromagnético son fenómenos idénticos, o sea de la misma naturaleza física, y su diferencia radica simplemente en la frecuencia de cada una.* Se define como *frecuencia* de una corriente eléctrica alterna y de los campos electromagnéticos en general, a la cantidad de variaciones de sentido de la corriente o de los campos, que se produce en un segundo de tiempo. La corriente alterna de la red a la cual conectamos nuestros enseres domésticos es de 50 ciclos/segundo, o 50 Hertz, en Argentina. El Hertz, abreviadamente Hz, designa a 1 ciclo/segundo, y es la unidad de frecuencia. Pero en cambio las ondas de radio usadas para comunicaciones a grandes distancias pueden tener frecuencias de, por ejemplo, diez millones de Hz. (Si 1 Hz = 1 ciclo/segundo, entonces 1 Kilo Hz = mil Hz y 1 Mega Hz = 1 millón de Hz). Ver Capítulo 5. Las transformaciones de la energía. Parte III, sección 5.9 *Unidades de energía*.

Se llama *contaminación radioeléctrica*, a los efectos dañinos que pueden provocar sobre los seres vivos los campos electromagnéticos muy intensos y/o prolongados en las frecuencias de las corrientes que se distribuyen en la red eléctrica (50 o 60 Hz), o en las frecuencias de radiotelefonía y telefonía celular (en el orden de los MHz). Por supuesto, el principal objeto de preocupación son los seres humanos. Aunque la industria de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica y las dedicadas a la radiofrecuencia, no admiten en general los efectos nocivos de esos campos, la cantidad de denuncias de afectados con distintas dolencias crece continuamente. El principal efecto que se le atribuye es el de provocar cáncer de cerebro. Los investigadores que sostienen la tesis de que esas radiaciones son malignas registran otros efectos. En Argentina existen normas preventivas que limitan las intensidades de los campos electromagnéticos provocados por los sistemas de transmisión en alta tensión. El problema reside en quién controla su cumplimiento.

Además de los efectos señalados, imputados a radiaciones de frecuencias relativamente bajas como las nombradas en el párrafo anterior, existen otros causados por la radiación electromagnética de muy alta frecuencia, como los rayos X y los rayos gamma. Como lo estableció y explica la teoría de la mecánica cuántica (o teoría de los cuantos), *la energía que cada onda tiene es proporcional a la frecuencia de la radiación*. Los rayos X son tan penetrantes como para atravesar un cuerpo humano (radioscopia) porque poseen una altísima frecuencia, muchísimo más que la luz visible. Entonces, si la potencia de la radiación electromagnética aumenta con la frecuencia, los daños que puede producir en los cuerpos de los seres vivos son mayores cuanto mayor es esa frecuencia. El tiempo de exposición a las radiaciones es también importante. Pensar en las quemaduras que uno sufre cuando se expone por largo tiempo a la luz ultravioleta del sol en una playa o de una lámpara que las produce en una cama solar, aun cuando su intensidad sea débil. Como los efectos sobre los tejidos orgánicos son acumulativos en el sentido de provocar la formación de tumores malignos, conviene no exponerse a las radiaciones penetrantes muy a menudo.

9.8 La seguridad en el transporte también es afectada por la contaminación del aire, pues las partículas sólidas que producen varios de los contaminantes nombrados, que se incorporan al aire en forma de humo, tienen la propiedad de condensar la humedad del aire, es decir el vapor de agua que éste contiene, para formar de manera combinada nieblas (smog en inglés) que pueden reducir la visibilidad hasta el punto de dificultar el desplazamiento de vehículos terrestres y perturbar la navegación aérea o marítima, ocasionando así con frecuencia graves accidentes con numerosas víctimas. (Smog es una combinación de dos palabras inglesas: smoke = humo y fog = niebla). A fin de eliminar este problema -y otros relacionados con la contaminación atmosférica- en las ciudades debería haber un estricto control de la calidad del aire, midiendo en muchos puntos y de manera continua con instrumental adecuado la contaminación producida por cada agente químico, e inclusive determinar el preciso lugar desde donde ella proviene, a fin de aplicar medidas punitivas a los responsables, mientras sin cesar se informa a los habitantes del lugar sobre cómo reducir la contaminación.

9.9 Adiós a las estrellas. Para los que gustan de contemplar o estudiar el cielo nocturno, esa mágica vista del pasado de nuestro universo a medida que uno se interna con la vista en su inmensidad, plena de interrogantes, el smog en el aire de las ciudades es fatal. No solo porque él absorbe buena parte de la débil luz que llega a la Tierra desde lejanos e interesantes objetos celestes, sino también y sobre todo porque refleja hacia nuestros ojos parte de la intensa luz que envían hacia el cielo las fuentes luminosas terrestres de las ciudades. ¿Porqué ocurre esto? *En buena parte porque esas fuentes luminosas son casi siempre de potencia excesiva comparada con la requerida en cada caso específico, a más de que los artefactos de iluminación utilizados no son ni diseñados ni instalados racionalmente, dado que envían sin necesidad gran parte de su luz hacia arriba, en vez de hacia abajo, donde se halla el terreno que se quiere iluminar.* Así es que aquel resplandor que baja desde el cielo nocturno reduce mucho la sensibilidad de la vista para poder observar objetos de débil luminosidad, justamente los más espectaculares. Por esas causas, a medida que pasan los años los habitantes de las grandes ciudades van progresivamente perdiendo la maravillosa posibilidad de mirar el universo en una noche con cielo limpio y sin nubes. Pero el problema no es únicamente de naturaleza estética y cultural, ya que se calcula que sólo en los Estados Unidos el exceso de iluminación, el defectuoso diseño e instalación de los artefactos de iluminación y su uso permanente aunque no sean necesarios, implica un sobre gasto inútil del orden de varios *miles de millones de dólares anuales*, por la energía eléctrica que se disipa sin necesidad, y por el costo de corrección de la contaminación que ello ocasiona por mayor utilización de combustibles para generar esa energía.

9.10 El ruido se suma al numeroso grupo de agentes nocivos para la vida animal, principalmente el ser humano. Puede afirmarse que en muchos casos de contaminación mencionados antes, pero en especial en el de los automotores y los aviones jet (a chorro de turbina), se produce otro tipo de contaminación, que si bien no es tan grave como la contaminación química debida al quemado de combustibles, es a la larga también insalubre para humanos y animales: es la contaminación acústica o sonora, que con el tiempo daña en forma irreparable el sentido de la audición, y se la señala además como desencadenante de afecciones cardíacas y alteraciones psíquicas.

Como puede verse, casi no hay actividad humana con alguna manifestación energética que no derive en cierto daño a la naturaleza, con consecuencias que perjudican también al hombre, causante él a su vez de esos daños. Cuanto mayor es el consumo de energía, mayor en general son los perjuicios ocasionados. Esto significa que por una parte deben investigarse, desarrollarse y adoptarse para cada fin las formas menos contaminantes, y por otra debe educarse a los hombres para que desde ya reduzcan al mínimo posible el uso de las formas de energía contaminantes actuales, contrariamente a lo que hoy la propaganda comercial invita a hacer. Hasta el mismo planeta, globalmente, está siendo afectado por el uso intensivo de energías por parte del hombre, como se verá en la sección siguiente. En una próxima sección se hablará del altísimo costo que la contaminación del planeta en general ocasiona a la sociedad humana.

9.11 El calentamiento global del planeta debido a la intensificación del efecto invernadero es un serio problema que está sufriendo la superficie de la Tierra, es decir los continentes, los mares y la atmósfera de nuestro planeta, aparentemente debido sobre todo a la creciente incorporación a la atmósfera de varios gases producidos por la actividad humana, que retardan el escape de la energía calórica proveniente del sol al espacio exterior, alterando así el balance térmico de aquélla y produciendo en consecuencia un sostenido ascenso de su temperatura, con graves consecuencias sobre la naturaleza.

¿Qué es en general el efecto invernadero? Para empezar a ver el tema hay que advertir que el efecto invernadero en su forma natural existe en la Tierra desde hace quizás miles de millones de años, en virtud de que la atmósfera que lo envuelve desde entonces, aunque con muchos cambios, actúa como una suerte de frazada o abrigo que retiene algo del calor mayormente solar en su superficie, manteniendo en ella una escala de temperaturas que ha permitido el desarrollo de la vida. La Luna no posee atmósfera, por lo tanto no tiene efecto

invernadero, y se sabe que la temperatura de sus rocas expuestas varía en centenares de grados entre el día y la noche. El grave problema que se está produciendo en la Tierra, es que “el abrigo” proporcionado por la atmósfera al planeta aumenta a raíz del uso intensivo de energía, y la consecuente incorporación a aquélla de gases que retienen una cantidad de calor que antes escapaba al espacio exterior, por lo cual la temperatura promedio va subiendo.

Profundizando algo más en un complejo tema, puede decirse que el calentamiento global consiste en que el calor que la Tierra recibe del sol más el poco que ella misma emite desde su interior o que las actividades humanas producen, requieren para su radiación hacia el espacio exterior de cierta temperatura promedio en su superficie, que en esta época es de unos 15°C. Eso ocurre por una resistencia selectiva que ciertos gases de la atmósfera poseen (con relación a las frecuencias tanto de la energía entrante desde el sol como de la saliente desde la Tierra), a dejarse atravesar por la radiación electromagnética. Entre esos gases, que han existido mucho antes que el hombre comenzara a alterar la composición de la atmósfera, esta especialmente el dióxido de carbono (CO₂). El vapor de agua es también, aunque no un gas, un efectivo conservador de la energía térmica; por eso los desiertos, caracterizados por la falta de agua, se enfrían mucho durante la noche.

Se le llama efecto invernadero a este fenómeno, porque es de alguna manera similar a lo que se produce en un invernadero para el cultivo de plantas, en donde la temperatura interior es superior a la del aire que lo rodea, aún en días muy fríos. Precisamente los invernaderos se construyen para proteger del frío -y también del viento- a ciertas plantas que no lo soportan.

La explicación de este fenómeno es que en un invernadero, parecido a lo que ocurre con la atmósfera terrestre, entra más fácilmente a través del vidrio la radiación electromagnética de muy alta frecuencia que llega desde la caliente superficie del sol (la luz y otras radiaciones) que la térmica de menor frecuencia que sale a través del vidrio, de modo que para que se mantenga el equilibrio que se observa, es necesario que la temperatura media en el interior del invernadero suba. (Algo parecido ocurre en los automotores expuestos al sol). Una explicación completa de este fenómeno se halla por un lado en la teoría que rige la radiación electromagnética de los cuerpos, que dice que la cantidad de energía radiante que ellos emiten es una función de su temperatura superficial, aumentando cuando ella aumenta, y por el otro lado en el caso de la atmósfera el comportamiento de los gases que la componen en cuanto a la emisión y la absorción de dicha energía a distintas frecuencias.

El efecto invernadero en su forma natural ha existido, como ya se dijo, en las últimas edades geológicas, o sea mucho antes de la aparición del hombre en la Tierra, manteniendo en cada época un cierto rango de temperaturas medias, con lentas variaciones a través del tiempo, y en ese equilibrio se han desarrollado todas las formas de vida conocidas, el hombre incluido. El problema ha surgido desde que la tecnología permitió al hombre una utilización cada vez mayor y más diversa de los agentes energéticos, que casi siempre generan gases cuyo efecto invernadero se suma a los naturales que ya existían, aumentando así la temperatura media de la atmósfera. Adicionalmente, casi todos esos gases tienen efectos dañinos sobre la salud de los seres vivos.

Los principales gases de efecto invernadero que las actividades humanas agregan en cantidades crecientes a la atmósfera son:

- *Halocarbonos* (compuestos del elemento carbono con elementos alógenos como el flúor y el cloro).

Se usan en los aerosoles, o como agente refrigerante en heladeras, acondicionadores de aire, etc.

- *Metano* (compuesto de los elementos carbono e hidrógeno: CH₄).

Es el gas del petróleo, que se quema con muchos diferentes usos (en calefacción, generación de energía,

cocinar, industria petroquímica, etc.). También es producido por los mamíferos, especialmente el ganado

para consumo humano, por descomposición de los alimentos ingeridos. Se desprende también de la materia orgánica en descomposición.

- *Dióxido de carbono* (compuesto de los elementos carbono y oxígeno: CO₂).

Resulta de la respiración animal y de la quema de todo tipo de combustible que contenga carbono, tal

como los hidrocarburos, los carbones (hulla o carbón mineral y el carbón vegetal de la madera) y la

madera. La actividad volcánica también aporta este compuesto a la atmósfera. Ha existido siempre en el aire, pero ahora su cantidad crece.

-*Óxido nítrico* (compuesto de los elementos nitrógeno y oxígeno). En parte se produce por la descomposición en la atmósfera bajo la acción de la luz solar, de residuos gaseosos de la combustión de los hidrocarburos, y por ciertas prácticas agrícolas, como el uso de abonos nitrogenados.

Es importante destacar que el CO₂ de la atmósfera, por su comparativamente alta concentración, es hoy el principal agente del notable incremento del efecto invernadero. Este gas ha sido y es hoy mismo absorbido parcialmente por los vegetales a través del proceso denominado fotosíntesis, fenómeno que tiene lugar en las hojas de las plantas bajo la acción de la luz del sol, por el cual ellas toman de aquel gas el carbono para desarrollar sus estructuras, liberando en la atmósfera el oxígeno tan necesario para la vida. Como se ve, los vegetales no sólo han ayudado en el pasado a mantener la justa proporción de dióxido de carbono en el aire, sino que también emiten oxígeno en el proceso de la fotosíntesis. Puede decirse entonces que a través de la fotosíntesis vegetal y otros mecanismos, la Tierra ha mantenido -por lo menos en los últimos miles de años- un equilibrio natural en la temperatura de la biósfera, que el hombre está ahora alterando. De aquí se ve la importancia que tiene la conservación de toda forma de vida vegetal, los bosques en primer lugar. Existe otro fenómeno que ocurre cuando se cambia la población forestal de una zona por talado o quema del bosque, y es que se altera la absorción de calor en la superficie, lo que deriva en alteraciones climáticas que la afectan negativamente. Como agravante del problema, el talado o quemado de los bosques prepara el terreno para su desertificación, fenómeno que además va alterando los microclimas de las áreas donde va avanzando.

Calentamiento global. El aumento de la temperatura media de la atmósfera que se observa según los estudios científicos realizados en las últimas décadas, es muy pequeño pero de aumento acelerado, y parece haber ocurrido en su gran mayoría en el transcurso del último siglo y medio. Este fenómeno ha sido denominado "calentamiento global". Parece no ser casual que simultáneamente con la aparición de éste, el contenido en la atmósfera de los arriba mencionados compuestos químicos ha aumentado notablemente en el mismo período (los halocarbonos en realidad no existían en la naturaleza, el hombre los introdujo). El aumento de temperatura comprobado es de menos de 1°C en ese siglo y medio, pero como la tendencia es acelerada, al paso del consumo energético de los hidrocarburos, el fenómeno es preocupante por los graves efectos que ya mismo parecen estar manifestándose en la biósfera terrestre, que es la parte inferior de la atmósfera y en donde, junto con los mares, reside toda la vida del planeta.

Ver Capítulo 7. Uso mundial de la energía, sección 7.5 *Imposibilidad de un aumento indefinido del consumo mundial de energía.*

9.12 La importancia del aumento de la temperatura de la atmósfera. Es enorme. Las observaciones muestran que, por ejemplo, aparentemente debido al aumento de la temperatura de la atmósfera y de las aguas oceánicas, se están derritiendo gigantescos volúmenes de hielo de las regiones polares, sobre todo en el Continente Antártico, donde a menudo además se desprenden de las costas enormes campos de hielo, fenómenos ambos que antes no ocurrían en esa magnitud. Se está pronosticando que en el curso de este siglo XXI podrían desaparecer los hielos que forman el Océano Glaciar Ártico, un inmenso campo de hielo que existe alrededor del polo norte. Asimismo se comprueba que los glaciares (ríos de hielo que bajan de las montañas de zonas frías) retroceden notoriamente en casi todo el mundo, fenómeno que en Argentina ya puede observarse en el Parque Nacional los Glaciares de la provincia de Santa Cruz, en la Patagonia, glaciares que a su vez son alimentados por la extensa y gruesa superficie del campo de hielo patagónico que existe sobre la cordillera, el que también puede llegar a tener el mismo destino.

Las graves derivaciones de estos hechos ya pueden preverse.

Una de las catastróficas consecuencias que se pronostican es que de continuar este proceso -que además ocurre de manera acelerada-, las aguas del hielo fundido, por sobre todo el de la Antártida, ahora en buena parte como hielo cubriendo la rocosa superficie de este continente por sobre el nivel del mar en espesores de más de un kilómetro, sumado esto a la dilatación de los océanos debido también al calentamiento, provocarán progresivamente un importante ascenso del nivel de las aguas de estos últimos. Cuando a medida que los hielos se van transformando en agua que se vierte en los océanos y esa subida alcance varios metros, lo que puede ocurrir en el curso de el presente siglo, vastas áreas costeras de los continentes -y también una gran cantidad de islas completas- quedarán sumergidas bajo las aguas, y los daños serán como es de imaginar tremendos. Sobre todo en las grandes metrópolis que se hallan en bajos niveles frente a mares o ríos que desembocan en ellos, por ejemplo las metrópolis de Nueva York y de Buenos Aires, entre muchas otras. El caso de Buenos Aires sería uno de los más graves como consecuencia de que ya ahora mismo y a menudo, bajo el efecto de fuertes vientos del sudeste, las aguas del océano Atlántico y del Río de la Plata son impulsadas por fricción y empuje río arriba, y durante ese fenómeno (llamado sudestada), que puede durar varios días, el agua sobre la costa bonaerense del Río asciende -agravado ese ascenso por la acción de la aceleración de Coriolis- una cantidad de metros por sobre su nivel medio. Sumando a ese ascenso -que ha llegado a ser alguna vez de hasta unos cinco metros en la zona del delta- la plenamar de una marea de sicigias y el ascenso permanente de las aguas por el deshielo antártico y la dilatación de los mares, se producirían destructivas inundaciones de zonas costeras.

Otra calamidad también de consecuencias mundiales sería la desaparición del casquete de hielo sobre el Mar Ártico en torno del polo norte. Esto podría provocar la alteración de todo el clima del hemisferio norte, al desencadenar importantes cambios en el régimen de las corrientes marinas, en especial la del Golfo de México, que entre otras cosas brinda a Europa el clima relativamente templado del que ahora goza.

Tanto el problema antártico como el ártico pueden además alterar la ecología de todo el planeta al punto tal de ocasionar la extinción de enormes superficies boscosas del planeta y en consecuencia la desaparición de enormes variedades animales. Ambos fenómenos influirán asimismo fuertemente sobre la vida oceánica.

Por otro lado, la reducción de las superficies cubiertas por nieve o hielo tiene además un importante efecto sobre la capacidad del planeta para reflejar la radiación solar. Al eliminar una vasta superficie blanca, entonces con un gran poder reflectivo, y reemplazarla con el suelo oscuro que hay debajo, éste absorbe mucho más esa radiación empeorando así aún más el calentamiento global.

Los lamentables cambios climáticos que ya se están de alguna manera notando, pueden ser de tal magnitud que produzcan graves sequías o inundaciones crónicas, que obliguen al desplazamiento de millones de personas en distintas áreas del planeta, a más de la pérdida por transformación en desiertos de grandes extensiones de tierra hoy cubiertas por valiosos bosques o bien cultivables. Las "epidemias" de hambre o hambrunas, podrían ser comunes y recurrentes. Se amplía el tema en la sección *9.14 El alto costo de la contaminación.*

9.13 La disminución de la capa de ozono en la atmósfera es otro grave fenómeno que preocupa a científicos y otras personas responsables de todo el mundo. La capa de ozono es una difusa zona de la alta atmósfera terrestre donde existe una pequeña -pero importante- cantidad de ese gas, que tiene la propiedad de retener o filtrar la radiación ultravioleta en la justa proporción como para no dañar la vida de la biósfera. La disminución periódica anual de su densidad entre los meses de agosto y noviembre observada en las últimas décadas, se produce de manera creciente y con mayor intensidad en torno de ambos polos, pero principalmente sobre el continente Antártico y los mares que lo circundan. A veces alcanza parte del sur de la Patagonia, y por efectos de los vientos la disminución del ozono y por lo tanto el aumento de la radiación ultravioleta, llega aunque menos perceptible hasta bajas latitudes sur del continente sudamericano por unos días. La descripción de las causas de esta expansión de la zona con defecto de ozono, es lo suficientemente complicada como para evitarla en este trabajo de divulgación elemental.

Este fenómeno es atribuido a la liberación masiva en el aire de gases tales como los halocarbonos (compuestos químicos del carbono con elementos halógenos como el cloro y el flúor), producidos artificialmente por el hombre para ciertos usos, y también a los escapes de los aviones a chorro y a otros agentes contaminantes, que tienen la propiedad de destruir las moléculas de ozono transformándolas en oxígeno, gas que no posee la capacidad de reducir la radiación ultravioleta. Más de las 9/10 partes de esas dañosas emanaciones provienen del hemisferio norte, donde se ubican las grandes potencias mundiales que las generan con su gigantesco consumo energético, pero el efecto mayor se observa sobre el hemisferio sur, donde se hallan muchos países del tercer mundo, es decir los que debido a sus bajos niveles de vida son los que menos contaminan el planeta. Los compuestos halocarbónicos son también, con otros, responsables del efecto invernadero, según se comenta en la sección 9.11 *El calentamiento global del planeta debido a la intensificación del efecto invernadero*.

El ozono (fórmula química O₃) es un gas cuyas moléculas están constituidas por tres átomos del elemento oxígeno, en lugar de dos, como ocurre con el oxígeno (O₂) que respiramos con el aire, y tiene la propiedad de retener (transformándolas en calor) las radiaciones ultravioletas mortales para la vida, y dejar pasar en cambio en gran parte la radiación ultravioleta benigna proveniente del sol, en la intensidad justamente necesaria para mantener la vida de muchas especies animales que ella alcanza. La razón de esto es que la vida que puebla hoy nuestro planeta Tierra se desarrolló a lo largo de eones, adaptándose a los lentamente variables niveles de la intensidad de esa radiación ultravioleta que llegaba a la superficie. Si ella aumenta ahora rápidamente -como ocurre sobre todo en la Antártida y los mares que la circundan- sin dar tiempo a que los organismos se adapten a los nuevos niveles, la desaparición de muchas especies animales aún en el mar es posible. Por suerte los seres humanos, pero no los demás seres vivos (muchos de los cuales soportan nuestras existencias), pueden protegerse de esa excesiva radiación con el simple recurso de cubrirse la piel con una tela opaca. Pero eso es lo que no hacen, para su mal, los que durante mucho tiempo se exponen en playas y camas solares a esa dañina radiación ultravioleta, de efectos acumulativos, persiguiendo la mayoría de ellos lucir el bronceado que la diosa Moda exige para cumplir mejor el mandato de Eros. ¿Porqué será que desde hace milenios, cientos de millones de personas, sobre todo en los países del tercer mundo con alta radiación solar, han estado cubriendo su piel con túnicas o por lo menos con amplios sombreros?

9.14 El alto costo de la contaminación. No se dispone de información fidedigna acerca de cuánto cuesta a la humanidad los aspectos negativos del uso de la energía en todas sus formas, pero se estima que es con seguridad del orden de muchas decenas de miles de millones de dólares anuales. Estos costos se distribuyen principalmente entre los siguientes rubros:

- a) La pérdida de valiosos recursos naturales en la tierra o las aguas, sobre todo en el ámbito de las vidas animal y vegetal.
- b) Los costos totales de atención médica exigidas por el enorme número de enfermos con cáncer, enfermedades cardíacas, afecciones respiratorias, envenenamientos, problemas psíquicos, etc., atribuibles a los distintos tipos de contaminación.
- c) Las pérdidas de trabajo productivo como consecuencia de esas enfermedades, o por simples reducciones de la capacidad laboral, provocadas por alguna forma de contaminación.
- d) Los despilfarros de energía que se producen cuando se la utiliza innecesariamente o con bajo aprovechamiento.
- e) Los incalculables gastos que de manera creciente demanda la lucha contra la contaminación.

Ampliando el punto a) puede decirse que la contaminación de las aguas de ríos y lagos por productos químicos vertidos en ellos, torna en general muy difícil y costosa su utilización como fuentes de agua potable o para riego. Muchas especies animales y vegetales se van extinguiendo al dañarse su hábitat, provocando una peligrosa reducción de su variada riqueza natural, llamada *biodiversidad*. Asimismo, esta consecuencia sí de casi imposible evaluación, estamos sufriendo la destrucción de bellos paisajes cuya contemplación eleva el espíritu, y que fueron motivos inspiradores de tanto arte, poesía y literatura, que para su

grandeza histórica viene creando el hombre desde hace milenios. La destrucción de los bosques, grandes elaboradores del oxígeno de la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis, acelera aún más la degradación del ambiente natural. Todas esas pérdidas se tornan aún más catastróficas cuando se comprueba que ellas repercuten hasta sobre el clima mundial, como se vio anteriormente. Los defensores a ultranza del desarrollo económico y el tecnológico que lo hace posible, dicen que estos daños no son provocados solamente por el uso de fuentes energéticas, lo que podría en parte ser cierto. Pero es innegable que si el hombre utilizara esas fuentes mas racionalmente, esta suicida agresión a la naturaleza no ocurriría.

La sobrepoblación. Tal como numerosos científicos lo han hecho notar, nuestro planeta Tierra es en cierto sentido como una maravillosa gran nave cósmica, que vaga por el hostil espacio sideral sosteniendo variadas y numerosas formas de vida, cuya masa total queda limitada por los recursos de que está dotada, más allá de lo cual se desequilibran sus mecanismos naturales. Para entender mejor el problema, una pregunta crucial surge entonces: ¿puede una nave espacial verdadera, como las que se lanzan a menudo hoy al espacio, aumentar indefinidamente el número de sus tripulantes por reproducción descontrolada de los mismos, sin que ello acarreea funestas consecuencias? Está claro que no, porque los recursos de que la nave está dotada no alcanzarían para esa creciente población. Mas aún, ¿podrían los tripulantes fumar, dispersar dentro de la nave otras substancias nocivas, sin que el medio que les sirve de sustento sea dañado? Es evidente que no. Pero en la Tierra está ocurriendo algo análogo, sin que se tomen enérgicas medidas correctivas. Las trágicas consecuencias de este descontrol ya están a la vista y pueden ser aún peores.

Esta situación de contaminaciones en todos los ámbitos físicos de nuestro planeta no puede continuar, y debe ser revertida urgentemente para volver a niveles aceptables, si es que valoramos nuestra salud, la vida de nuestros descendientes y la naturaleza del mundo en el cual y del cual vivimos. Para lograr ese impostergable objetivo, se impone profundizar al extremo ya mismo todas las medidas correctivas existentes y a ser creadas con ese propósito. Hay organismos oficiales y privados de carácter nacional e internacional que desde hace años bregan para por lo menos impedir el agravamiento de este mal mundial.

Desgraciadamente hay varios factores que retardan la toma de medidas efectivas:

- a) *la inacción de los gobiernos del mundo por ignorancia, indiferencia o corrupción de sus funcionarios, lo que no tendría que ocurrir sobre todo en aquellos países que poco participan de los beneficios de los que más contaminan, pero en cambio que sí sufren la contaminación que provoca enfermedades, destrucción de nuestro hábitat, el calentamiento global y el problema del debilitamiento de la capa de ozono;*
- b) *la inacción popular, causada por la ignorancia y/o indiferencia de la gente -en primer lugar los que poseyendo estudios superiores tendrían que ser conscientes de este drama- con relación a las consecuencias catastróficas que todos estos procesos pueden tener sobre la vida en la Tierra, si ya mismo no se empieza seriamente a detenerlos y reparar los daños causado;*
- c) *el alto costo de los cambios técnicos requeridos para reducir las contaminaciones, sobre todo en las grandes potencias mundiales, que son las que poseen los mayores consumos energéticos y por lo tanto las que más contaminan, y también las que más influyen sobre las políticas a seguir.*

10. Maneras de ahorrar energía para reducir la contaminación ambiental (y de paso gastar menos).

10.1 General. *Todas las actividades humanas producen algún tipo de contaminación en el medio ambiente. Mientras comen y eliminan desechos, utilizan aparatos eléctricos, se desplazan en un automotor, un ferrocarril o un barco, vuelan en un gran jet y en muchas otras ocasiones, los seres humanos generan contaminación, siempre más masiva y deletérea cuanto mayor es la magnitud de las diversas energías puestas en juego.*

Muchas veces realizamos una actividad que creemos que sólo produce apenas un pequeño daño al ambiente natural, por ejemplo utilizar el automóvil para cortas distancias, exigir al encargado del edificio que ponga calefacción cuando uno siente frío, a pesar de que la temperatura ambiente está por arriba de la acordada por los consorcistas para poner calefacción, dejar una luz prendida cuando no es necesaria, sobre todo cuando es de una potencia excesiva, arrojar combustibles o lubricantes a los desagües o al agua de ríos o lagos, etc. Puede ser cierto que lo que uno haga parezca no ser tan contaminante, pero hay que pensar que uno no es el único que lo hace, ya que hay millones de personas en todo el mundo que están haciendo lo mismo simultáneamente, y que entonces los efectos se van sumando hasta producir un gran daño.

Además, cuanto más se reduzca el consumo de energía, menos se paga en dinero, lo que también es importante. Cuanta más energía se gasta, más cara es la vida. Un uso inteligente de la energía, en todas sus formas, se traduce no sólo en menos contaminación, sino también en menos gastos para el usuario de esa energía.

10.2 Qué se puede hacer para reducir al mínimo la contaminación. Una forma segura sería la de no realizar ninguna actividad dañina para el medio ambiente, es decir, que implicara el uso de alguna forma de energía. Pero es que casi no existen actividades humanas que de alguna manera no contaminen. De modo que no podemos dejar de atender todas nuestras necesidades y comodidades para reducir la contaminación a cero, porque entonces tampoco podríamos vivir, o por lo menos retornaríamos a las primitivas formas de vida de hace varios siglos, cuando el consumo energético más contaminante se reducía a quemar leña o a lo sumo hulla.

Países del primer mundo -los más culpables de esta situación porque son los que más energía consumen- han investigado científicamente el grave problema de la contaminación en casi todos sus aspectos, y aunque resta todavía mucho por hacer en este campo, ya se dispone de una cantidad de conclusiones que permiten fijar criterios de evaluación y reglas prácticas de procedimientos para reducir el efecto contaminante de muchas actividades.

Veamos algunos de esos criterios y recomendaciones, siempre con relación a aquellos procesos que incluyen la producción o el uso de energía en sus diversas formas, y cuyo impacto ecológico es importante y puede reducirse. En muchos casos la elaboración de estudios de costos será de gran valor para impulsar los cambios de prácticas requeridos.

No se dan en orden de importancia, sino por campos de actividades.

- En el área oficial, las autoridades nacionales, provinciales y municipales deben estimular el uso de las energías menos contaminantes comenzando por sus propios organismos, promoviendo asimismo las investigaciones científicas y tecnológicas de apoyo a tal fin. Para comenzar y dar el ejemplo, en los campos de responsabilidad de aquéllos, la iluminación, tanto en espacios interiores como exteriores, el aire acondicionado, el uso de vehículos y maquinaria y otros, tendrían que ser analizados en detalle para ver en dónde se puede reducir el consumo energético o, en general, la contaminación.

-En el área privada, pero con estímulo y fuerza legal oficial al mismo tiempo, se debe tender en lo posible a minimizar en todos los ámbitos las actividades de mayor contaminación y reemplazarlas por otras menos contaminantes. Algunas de las áreas críticas son el uso del transporte y de la energía eléctrica.

-El transporte automotor debe ser progresivamente transformado, pasando de vehículos que queman los combustibles actuales a otros menos contaminantes, como el gas de petróleo comprimido, que adicionalmente es de un costo mucho menor.

-Asimismo y a través de una campaña publicitaria oficial, deben cambiarse los hábitos de utilizar los vehículos personales cuando ello no es necesario, promoviendo el desplazamiento pedestre y para distancias mayores el uso de los transportes públicos, en especial el ferroviario (trenes subterráneos o de superficie). La máquina de transporte menos contaminante es la bicicleta, y por todos los medios debería estimularse su uso para distancias del orden de algunos kilómetros, así como también educar a los conductores de automotores a guardar el respeto debido a los ciclistas.

-En cuanto al consumo eléctrico, debe informarse a los consumidores de manera efectiva sobre cómo pueden racionalizarlo, a fin de evitar un uso dispendioso de esa costosa y contaminante forma de energía.

-En el campo personal y con beneficios inmediatos, los usuarios deben ser informados de que cuanto mayor es el precio de un objeto, cualquiera sea él, en general mayor será la cantidad de contaminación que su fabricación y uso acarrearán. (El automóvil es un caso típico. Ya desde su construcción un automotor insume una cantidad considerable de energía, mayor cuanto mayor es su tamaño, con la consiguiente contaminación que esto acarrea. Mucho más importante aún es la contaminación que un automóvil produce a lo largo de su vida útil. Los usuarios de esta maravillosa máquina que es el automóvil debieran ser informados de que el uso de un modelo de bajo precio, por consiguiente con un motor de reducida cilindrada o sea de baja potencia, contamina en general menos que otro con un potente motor, que como es lógico se vende además a un precio mayor. La causa de esto es que el más potente consume más combustible que el pequeño).

- Debe hacerse saber por los medios informativos por un lado y de manera compulsiva y con penalidades a los infractores por el otro, que todas las máquinas deben ser mantenidas en buen estado de funcionamiento, ya que cuanto más fallas tienen mayor es la contaminación que producen. Los automotores deben ser los primeros en ser controlados periódicamente y en ruta, pero no solo por razones de seguridad con relación a los accidentes que pueden ocurrir, sino también por la contaminación que producen.

-El criterio de que cuanto más potente es una máquina, más contamina, es de aplicación general y las autoridades en todos los niveles del poder deberían tenerlo en cuenta al adquirir sus propios equipos, sobre todo para no utilizar máquinas sobre dimensionadas con relación a la función a cumplir. En este sentido, la evaluación de las tareas a desempeñar y la elección del equipo necesario debe estar a cargo de técnicos capacitados y conscientes del problema ambiental.

-En las tareas de búsqueda y exploración de yacimientos de petróleo, su extracción, transporte y entrega a las destilerías, así como en éstas y luego en el transporte de los subproductos y su distribución a los usuarios, debe ejercerse el máximo de precauciones para evitar derrames, venteos (escape de gases al aire) e incendios.

-Recomendaciones similares deben hacerse con el gas del petróleo o cualquier otro tipo de gas combustible, para evitar accidentes y contaminación en plantas de proceso o industriales, en gasoductos o en redes de distribución.

-Los administradores de las centrales de generación de energía eléctrica, de cualquier tipo que sean, deben tomar todas las medidas que reduzcan la contaminación que su operación produce, y extremar las precauciones para evitar siniestros que puedan derivar en daños directos al público y/o contaminación del medio ambiente. En esas previsiones entra la calidad del combustible utilizado, sea gas, fuel oil o carbón mineral o hulla en las centrales termoeléctricas, dado que el grado de contaminación guarda estrecha relación con el tipo de combustible utilizado. La contaminación que producen los humos de estas centrales se reducen en el siguiente orden de uso: hulla, fueloil, gas del petróleo. Además, es importante que las máquinas consuman la menor cantidad posible de combustible para generar una determinada cantidad de energía eléctrica. En este sentido la industria eléctrica mundial ha logrado avances considerables en las últimas décadas, y el control de los sistemas eléctricos de cada país debe incluir esa previsión, como de hecho ocurre en Argentina. La autoridad pertinente debe obligar a instalar dentro de la planta, en especial en los sistemas de evacuación de los productos de la

combustión en las calderas, los instrumentos y dispositivos que permitan un riguroso control de su grado de contaminación, a fin de verificar si se cumplen las regulaciones respectivas.

-En las centrales nucleares, las previsiones para impedir accidentes deben ser de gran rigor y conforme a disposiciones ya establecidas al respecto por los organismos de control de jurisdicción mundial, dada la gravedad de que por un accidente escapen a la atmósfera, la tierra o las aguas, productos radioactivos, cuya eliminación es casi imposible y tardan en algunos casos hasta miles de años en desaparecer por descomposición radioactiva.

-Para todas las plantas industriales donde se procesan productos contaminantes, muchas veces derivados de, o emparentados con el petróleo, como es el caso de las petroquímicas, se deben también aplicar efectivas medidas que prevengan escapes de sustancias nocivas y/o accidentes.

-La autoridad estatal pertinente debiera estimular a los usuarios y productores nacionales e importadores, en todos los órdenes, para que en el diseño, la fabricación y la operación de toda clase de máquinas y sistemas que utilizan alguna forma de energía, se incluyan previsiones tales que sus impactos sobre el medio ambiente sean mínimos, compatibles con las posibilidades de su comercialización. Esto significa que las máquinas deben cumplir con la tarea para la que fueron construidas utilizando la menor cantidad posible de energía. Entran en esta categoría los motores de combustión interna que se usan para impulsar vehículos de todo tipo, las turbinas de vapor o que queman combustibles, los motores y generadores eléctricos, los sistemas de producción, transmisión y distribución de energía eléctrica y gas, los sistemas de calefacción y refrigeración, las instalaciones industriales en general, los enseres domésticos, los artefactos de iluminación, etc.

-La producción de ruido debe ser reducida a los más bajos niveles posibles, especialmente cuando los equipos ruidosos operan cerca o adentro de poblaciones humanas. Esta recomendación afecta a automotores, aeronaves, ferrocarriles de superficie y subterráneos, centrales eléctricas, sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica en alta tensión, generadores eólicos de energía eléctrica, máquinas de uso urbano en general, y otras fuentes de ruidos. Muchas veces el ruido es señal de una defectuosa operación, que además daña a la máquina. El ruido, por muchos motivos, es caro y dañino.

Dado que el ciudadano común tiene poco o ningún poder para exigir individualmente el cumplimiento de los instrumentos legales en vigencia que debieran protegerlo, son las autoridades nacionales, provinciales y municipales de un país, mediante la firme intervención de sus entes de control, las que tienen la obligación de exigir al causante que la contaminación en cada caso se mantenga por debajo de los niveles máximos permitidos.

Es verdad que existen organismos internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas, que están trabajando firmemente en el tema del cambio climático y su mitigación, con planes en los que Argentina de alguna manera participa. La importante reunión del año 1.998 en Kyoto, Japón, después de numerosas consultas y discusiones de especialistas en el tema, agrupados por especialidades y provenientes de distintos países, emitió el llamado Protocolo de Kyoto, dentro de la llamada Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (creada por la ONU en New York en 1.992). En este importante documento se establecen políticas y medidas que los países deberán aplicar dentro de períodos y con resultados concretos que serán sometidos a mediciones. Pero desgraciadamente el país más poderoso del mundo, y el que más energía consume y por lo tanto más contamina, los Estados Unidos de Norteamérica, ha manifestado ya la imposibilidad de cumplir de su parte esas obligaciones con la excusa de que si lo hicieran, su economía resultaría seriamente afectada por los costos de las modificaciones que el equipamiento de sus vastas industrias contaminantes deberían afrontar, así como las pérdidas que su producción y sus exportaciones sufrirían a causa de ello. Es de esperar que la fuerza de la opinión pública mundial y de las medidas que tomen los demás países al respecto, tengan la fuerza de cambiar esta situación

10.3 Qué puede uno hacer contra la contaminación día a día. La respuesta es: *muchas cosas*. Hay una gran variedad de simples actitudes y medidas personales, que los individuos conscientes de esta crisis ambiental que atravesamos debieran adoptar, en todo lo posible. La

mayor parte de las medidas que pueden tomarse se vincula, de una manera u otra, al uso de alguna forma de energía. *Y no hay que limitarse a aplicarlas sólo uno mismo. Es importante también divulgarlas y recomendar su aplicación tanto como se pueda.*

Ante cada necesidad de hacer algo que involucre el uso de alguna forma de energía, uno debe elegir, hasta el nivel que pueda aceptar, aquélla que menos contaminación produce. Si, por ejemplo, en situación de comprar un automóvil, el deseo o el capricho llevan a pensar en adquirir un automóvil de 200 HP de potencia para pasear por una ciudad a no más de 80 Km/hora, cuando la mitad de esa potencia sobra para este uso, la decisión que se tome será una cuestión de conciencia, no de necesidad.

Unas pocas sugerencias a tener en cuenta:

- Hay que caminar lo más posible en lugar de ascender a un medio de transporte para hacer unas pocas cuadras de distancia, sobre todo cuando se trata del automóvil propio, porque además de reducir la contaminación se mantiene así un mejor estado físico. El uso de bicicletas está generalizado en una cantidad de países, donde puede verse a numerosos ejecutivos de alto nivel trasladándose en ese sano, económico y no contaminante medio de transporte. En otro orden, para recorrer distancias considerables, cuanto más personas viajen en un mismo automotor a destinos próximos, menor será la contaminación provocada porque así se usa menos combustible (esta práctica es recompensada por las autoridades comunales en muchos países). En cualquier circunstancia, prefiera tomar un medio de transporte público si le importa proteger el medio ambiente.
- No usar dispositivos que contaminan, por ejemplo los aerosoles, excepto que estén aprobados por una autoridad de control que certifica que no daña la capa de ozono.
- No arrojar al sistema de descarga de líquidos cloacales sustancias contaminantes, tales como combustibles, lubricantes, pinturas, etc., porque casi siempre terminan contaminando un curso de agua o un lago, provocando la muerte de muchos animales que uno quisiera contemplarlos vivos. Debidamente preparados los recipientes que contienen esas sustancias, serán retirados por el recolector de residuos.
- Evitar usar máquinas ruidosas que puedan molestar a otras personas.
- No quemar al aire libre combustible alguno a menos que sea absolutamente inevitable. La tan común práctica de quemar basura, hojas y ramas, residuos agrícolas, etc., debiera desterrarse.
- En el uso de energía eléctrica hay numerosas recomendaciones, todas en el sentido de utilizarla al mínimo y con la mayor eficiencia a fin de reducir la contaminación, ya que si bien el uso de electricidad en general no contamina, su transporte y distribución, pero en especial su generación, sí lo hacen.
- No mantener funcionando ni equipos de aire acondicionado ni de calefacción eléctrica (estufas), ambos de altos consumos energéticos, a menos que sea absolutamente necesario. Hay medios menos contaminantes -y mucho más económicos- para obtener un confort aceptable, tales como ventiladores y hasta una simple corriente de aire exterior para el calor, y abrigarse cuando se siente frío. En los edificios de vivienda o trabajo dotados de calefacción central, hay que establecer por acuerdo entre sus ocupantes una temperatura del ambiente exterior, por arriba de la cual no se dará calefacción. Un valor de 15°C (grados Celsius) es un nivel típico. El uso de burletes en las rendijas de todas las puertas y ventanas que dan al exterior, reduce considerablemente la pérdida del calor interior en días fríos y ventosos (es decir, con baja sensación térmica); esta prevención puede aplicarse, por supuesto, sólo cuando en el interior del recinto no hay fuentes contaminantes, pues si no sería peligroso al eliminarse la renovación del aire.
- Los equipos de televisión y de radio se apagarán cuando nadie esté atento a ellos.
- Las planchas consumen mucha electricidad, por consiguiente su uso será el estrictamente necesario.
- Las puertas de las heladeras deben abrirse lo menos posible y por cortos tiempos.
- No mantener luces prendidas sin necesidad. Recordar que en las horas diurnas la mejor luz es la luz natural del sol. Al elegir e instalar artefactos de iluminación, deben adquirirse los que con el menor consumo (Watts) cumplen con su función, y deben ser instalados en el lugar y en la posición óptimos, evitando que en los que se instalan al aire libre su luz se pierda en el cielo. La innecesaria contaminación luminosa del cielo nocturno también es nociva por la

contaminación química que produce en las centrales generadoras de electricidad, y además costosa porque se paga lo que no se usa.

- En los edificios para vivienda, oficinas, comercios y fábricas se pueden lograr importantes ahorros de energía (gas para calefacción y electricidad para enfriar el aire y para iluminar los ambientes) y de paso reducir la contaminación, mediante un proyecto arquitectónico y tecnológico inteligente. Se puede lograr esto tanto en edificios a ser construidos cuanto en los que ya están en uso. El sobre costo de esas previsiones tanto en el diseño como en la construcción, puede ser compensado con creces por el ahorro logrado en las facturas de electricidad y gas a lo largo de unos pocos años. Existen en Argentina numerosos profesionales, en universidades o estudios privados, con la capacidad de asesorar en este campo, inclusive en el uso de la más limpia y económica de todas las energías, la energía solar.

- El consumo de agua corriente, es decir aquella que nos llega cuando abrimos las canillas, parece no ser causa de contaminación, pero no es así. Desde el momento en que el agua en estado natural es captada (por ejemplo desde el Río de la Plata para ser consumida en el Gran Buenos Aires) hasta que llega al lugar de uso potabilizada para el consumo, se producen considerables gastos de combustibles en las centrales térmicas para generar la energía eléctrica necesaria para su procesamiento, especialmente para su bombeo por medio de grandes motores. Cuando se trata de agua caliente, el consumo energético es aún mayor, porque a la contaminación para producir el agua fría se le suma la necesaria para calentarla. La conclusión obvia es que -si queremos colaborar para reducir la contaminación- debemos utilizar el agua, sea fría o caliente, sólo en la cantidad y temperatura suficientes, no más.

Dado que el uso de los automotores es una de las más grandes causas de contaminación atmosférica (y de los mares, cuando se producen derrames) mundial, a causa de la enorme cantidad de combustible que consumen, es conveniente tener en cuenta los comentarios que siguen, si es que se la quiere reducir. Por otro lado, haciéndolo se disminuyen los gastos en combustibles y desgastes innecesarios, que requieren reparaciones y reducen la vida útil del vehículo, y por lo tanto también se ahorra dinero.

*El encendido y la carburación o inyección deben mantenerse ajustadas en su mejor punto. *Se debe acelerar y frenar moderadamente. *Se debe mantener siempre que se pueda la velocidad más económica (está indicada en el manual del automotor). *Acelerar y desacelerar el motor frecuentemente produce desgaste de todo el vehículo y mayor consumo de combustible. *Viajar con cargas innecesarias aumenta el consumo. *Hay que sacar el pie del acelerador apenas se ve que la luz del semáforo de tránsito cambia del verde al amarillo o al rojo, y frenar moderadamente, en vez de mantener la velocidad o hasta aumentarla –como hacen erróneamente muchos conductores- y tener luego que frenar violentamente frente a la luz roja, para volver después a arrancar el vehículo cuando la luz cambia, lo que podría haberse evitado. Esta mala práctica no sólo es contaminante, sino que aumenta los gastos de operación y mantenimiento del vehículo, por mayor consumo de combustible y lubricante, desgaste de motor, frenos, neumáticos, embrague y carrocería, a más del peligro de ser chocado desde atrás. *Hasta chocar es contaminante, además de las víctimas que puede ocasionar, dado que en la reparación se consume energía e insumos contaminantes.

Si uno ama la naturaleza de este maravilloso planeta y aprecia la salud propia y ajena, debería leer este capítulo más de una vez, tratando de aplicar por lo menos algunas de sus recomendaciones.

11. Síntesis final

La energía es el motor del universo. No existe un punto en él donde no haya alguna clase de energía, desde muy bajos hasta altísimos niveles. La materia puede ser parte de la energía y viceversa. Todo es energía. Aún hoy el conocimiento de la energía no es completo, dada su profunda complejidad.

La energía se presenta en muchas distintas formas en el universo, algunas de las cuales nuestros sentidos pueden percibir, otras no:

Como energía mecánica de la materia que forman los cuerpos, sea ella cinética, es decir de movimiento con relación a un sistema de coordenadas (la de un automóvil en movimiento con respecto al suelo), o bien potencial gravitatoria (la del agua de un río que baja hacia una turbina hidráulica para generar electricidad).

Como energía química -en los combustibles por ejemplo-, cuya liberación con manifestaciones diversas da como resultado final energía térmica o calor, que es vibración o desplazamiento atómico o molecular de mayor o menor velocidad. Casi todo el transporte mundial, sea por tierra, agua o aire, la utiliza intensivamente.

La energía térmica a su vez existe encerrada en toda la materia a cualquier temperatura, y se transmite a otros cuerpos por contacto físico o bien al espacio circundante en la forma de radiación electromagnética de ciertas longitudes de onda.

Como energía nuclear en los átomos, que se manifiesta principalmente en las estrellas por conversión de sus masas en variadas formas de energía, al transmutarse en su centro diversos elementos a través de procesos de fusión nuclear.

Como energía eléctrica o magnética, en general combinadas formando un campo electromagnético -fijo o radiante desplazándose a la velocidad de la luz-, energía que ocupa todo el espacio cósmico, incluyendo el interior de los átomos que forman la materia de que ese espacio está hecho. Como energía electromagnética radiante a la velocidad de la luz constituye las ondas de radio, de televisión, de calor, de luz, de rayos X o de rayos gamma. Básicamente es el mismo fenómeno, con distintas propiedades y por lo tanto con diferentes manifestaciones, que cambian simplemente por la frecuencia o longitud de onda de la respectiva radiación.

Finalmente, la energía se puede manifestar como energía emisiva constituida por partículas atómicas de origen cósmico, con velocidades desde valores muy bajos hasta casi la de la luz, tales como el viento solar, los rayos cósmicos y los neutrinos.

Hay otras formas de energía, de difícil interpretación, y hasta quizás algunas desconocidas.

La civilización científica-tecnológica actual se basa en el uso de la energía electromagnética, es decir la vinculada con la electricidad, que es entre todas las formas energéticas usadas por el hombre la más refinada y compleja, y por ello la de mayor número de aplicaciones. Se obtiene en las centrales eléctricas por medio de la energía de los combustibles, la energía potencial del agua o la energía nuclear. Se genera cuando en las máquinas llamadas generadores varían los flujos magnéticos concatenados con elementos conductores. En mucho menor escala, pero tal vez con un gran futuro, la energía eléctrica puede también ser generada por medio de la fuerza eólica, la radiación solar producida por las celdas fotovoltaicas y las celdas de hidrógeno; la gran ventaja de estos medios de obtener energía es que por un lado no se extinguirán, y por otro -muy importante hoy día- que no son contaminantes.

Una mención especial merece la energía que llega desde el sol en la forma de calor y luz -ambas radiaciones electromagnéticas- que guardan un inmenso potencial también para calentar e iluminar viviendas y otros edificios de todo uso y que hoy no es tan aprovechada para estos fines.

La ciencia de la Física, en un formidable despliegue del conocimiento humano, afirma hoy que todas las formas de energía conocidas pueden explicarse sobre la base de que existen en la naturaleza sólo cuatro fuerzas fundamentales: la fuerza gravitatoria, la fuerza electromagnética, la fuerza débil y la fuerza fuerte.

La fuerza gravitatoria es ocasionada por la materia en todas sus formas y masas, y es de alcance infinito. Es la fuerza que mantiene unidas a las concentraciones de materia que forman todos los cuerpos del universo. Las estrellas de todo tipo con los diversos objetos que las orbitan -la Tierra en torno del sol, entre ellos-, sus gigantescas concentraciones formando las galaxias y finalmente la reunión de muchas de éstas en cúmulos galácticos, son posibles gracias a la fuerza gravitatoria. Su intensidad es directamente proporcional al valor de las masas entre las cuales se manifiesta, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. En consecuencia, dadas las diminutas masas de las partículas que integran los átomos, y a pesar de las mínimas distancias que las separan, las fuerzas gravitatorias entre ellas son insignificantes en comparación con las otras tres, y por ello no son tenidas en cuenta en los estudios del átomo.

La fuerza electromagnética se origina en la existencia de campos eléctricos y magnéticos en el espacio, en reposo o desplazándose a la velocidad de la luz, o bien en fenómenos que tienen lugar en los átomos. Igual que la gravitatoria, tiene alcance ilimitado y

existe por lo tanto en todo el universo. Su forma más observable por el hombre con sus sentidos o a través de instrumentos, es como ondas electromagnéticas que se propagan por todo el espacio a la velocidad de la luz. Según la frecuencia de estas ondas, ellas se manifiestan de muy diversas maneras en cuanto a sus efectos, observables o no por los sentidos del hombre. Las ondas de radio, el calor radiante, la luz, los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma -nombrados en orden creciente de frecuencia- son manifestaciones del mismo fenómeno llamado radiación electromagnética. De manera similar a la fuerza gravitatoria, la fuerza electromagnética varía su intensidad con la inversa del cuadrado de la distancia a su fuente. La teoría cuántica afirma que el fenómeno radiante electromagnético es de naturaleza dual: está formado por ondas, pero cada onda puede ser también interpretada como una partícula llamada fotón. Se manifiesta de una u otra manera según la experiencia utilizada en su detección. La energía de cada onda o fotón es directamente proporcional a su frecuencia. De aquí que la radiación conlleva cada vez más energía cuanto mayor es su frecuencia. Esto explica el daño creciente con la frecuencia que las radiaciones electromagnéticas infligen a los seres vivos (luz ultravioleta, rayos X y rayos gamma).

La fuerza débil se manifiesta sólo en un reducido espacio del núcleo atómico, y es el agente decisivo en cantidad de fenómenos de desintegración de los núcleos atómicos tales como aquéllos que ocurren en la masa central de estrellas que estallan transformándose en supernovas, en los fenómenos que se observan en los materiales radiactivos y en otros.

Finalmente, la fuerza fuerte es otra de las fuerzas que se manifiestan en los núcleos atómicos para que éstos se mantengan unidos. Es la más intensa de las cuatro fuerzas. Las radiaciones que emiten las estrellas desde sus superficies y que se originan en su centro debido a reacciones de fusión de núcleos atómicos en donde se transmutan elementos livianos en otros más pesados, tienen origen en esta fuerza. Asimismo, las reacciones nucleares que tienen lugar en ciertos elementos de pesos atómicos elevados como el uranio en los reactores de las centrales atómicas de generación de energía eléctrica, y que se aprovechan en su faz térmica, son atribuibles a esta fuerza.

La observación de la naturaleza muestra que alrededor nuestro la energía cambia constantemente de forma o tipo. La luz se transforma en calor; el movimiento mecánico también se transforma en calor, pero puede asimismo transformarse en energía eléctrica; parte de una cantidad de calor, como la que resulta del arder de los combustibles, se transforma en movimiento, en luz, en ruido; la electricidad, circulando por conductores que conectan complicados dispositivos, puede convertirse en ondas electromagnéticas y éstas a su vez en imágenes y sonido musical o vocal. Estudiando el cosmos se comprueba que la energía gravitatoria de una nebulosa de gases y polvo provoca su contracción y da como resultado una estrella, de la que a su vez mana energía electromagnética y partículas de variada velocidad.

Se comprueba entonces que la energía, como la materia, se transforma continuamente de una clase a otra, pero en esos procesos no se destruye, su monto permanece constante. Las investigaciones demuestran que en cada proceso de conversión de una forma de energía en otra, el cociente de una y de la otra es un valor constante, la llamada constante de conversión o de equivalencia energética de ese proceso. (Aclaración: en las transformaciones

materiales, a veces una pequeña cantidad de materia se transforma en energía, de modo que su valor final no es el inicial, es muy poco menor. La cantidad de energía así generada tiene un valor muy grande con relación a la masa convertida; la teoría de la relatividad, con su famosa fórmula, da cuenta de este importante fenómeno).

Todas las clases de energía pueden transformarse a través de distintos fenómenos en calor de valor equivalente, pero no es posible transformar una cierta cantidad de calor totalmente en otra clase de energía, porque siempre habrá pérdidas de calor hacia el ambiente en el proceso.

La fuente principal de la energía recibida en la superficie del planeta Tierra durante miles de millones de años ha sido el sol, con sus radiaciones electromagnéticas, especialmente el calor y la luz. El origen de tanta energía, como se dijo antes, reside en las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en el núcleo de nuestra estrella y de la gran mayoría de las que vemos brillar en el cielo nocturno. Las estrellas son las mayores fuentes de energía individuales en el cosmos.

Por complejos y fortuitos fenómenos físicos y químicos, a través de los mecanismos de la evolución natural y bajo las influencias de las energías radiantes del sol y de la energía gravitatoria lunar y solar, se desarrollaron todas las formas de vida de nuestro planeta a lo largo de miles de millones de años, hasta llegar a las que podemos contemplar hoy.

Algunas de esas formas de vida, las de nivel inferior, que existieron en enormes cantidades en los mares o sobre la superficie terrestre en edades geológicas relativamente recientes, dieron lugar a través de su lenta extinción a la formación de inmensos depósitos subterráneos de complejas sustancias químicas orgánicas, que el hombre descubrió hace menos de dos siglos y comenzó a utilizar en la forma de combustibles líquidos y gaseosos. Son en su mayor parte sustancias compuestas de los elementos carbono e hidrógeno, es decir, hidrocarburos. El petróleo y su gas, y sólidos como el carbón mineral o hulla, tienen ese origen. Esos combustibles son las principales fuentes primarias de las distintas formas de energía que soportan la civilización actual.

El hombre usa energía en montos siempre crecientes. La cantidad de energía que cada individuo consume para sí, puede casi siempre tomarse como un índice de su bienestar físico. Además, en general, en las sociedades humanas se da un fuerte vínculo entre la utilización de energía y la posesión de bienes, la que a su vez da alto rango social para mucha gente. Pero la sola alta disponibilidad de energía no hace la felicidad de individuos o pueblos, como lo demuestran países con grandes recursos energéticos, en donde la población no vive bien.

La revolución científica-tecnológica-industrial que estalló a fines del siglo XVIII en Europa desencadenó el uso intensivo de la energía, sobre todo la energía térmica proporcionada primero por el carbón mineral o hulla y luego por los derivados del petróleo a lo largo del siglo XX. Todo el conocimiento que hoy poseemos sobre la energía y la materia, así como las múltiples aplicaciones que de ese conocimiento se han hecho a través de la tecnología hasta llegar a nuestra compleja y diversa civilización actual, se lo debemos al trabajo sin pausa desarrollado por miles de investigadores científicos y tecnológicos que dedicaron a ello sus vidas.

Desde hacía milenios el hombre utilizaba la energía del viento para navegar en sus veleros, mercantes o armados, por los mares del mundo transportando mercaderías, personas y fuerzas militares, siempre en cantidades crecientes y a mayores distancias. Por la tierra, y desde mucho antes, había utilizado para iguales fines sobre todo la energía animal de los grandes cuadrúpedos, sostenida ésta a su vez por la energía vegetal de las pasturas creadas naturalmente a través del fenómeno de la fotosíntesis (transformación de la energía electromagnética de la luz solar en materia alimenticia, los hidratos de carbono, consumible por los animales).

Pero el cambio revolucionario en todos los órdenes sobrevino por la aplicación generalizada de los distintos tipos de combustibles, en especies cada vez más elaboradas, a la producción de energía. Con ellos, comenzando por el carbón vegetal y mineral y siguiendo por los hidrocarburos petrolíferos, se impulsaron casi todas las diversas máquinas que el hombre fue creando a lo largo del históricamente brevísimo lapso de un par de siglos. Así nacieron las máquinas de vapor para el uso industrial, para el transporte marítimo primero como complemento de las velas y luego en su reemplazo, y también para el transporte ferroviario. A

fin del siglo XIX, con el enorme avance producido por la electrofísica, se hizo posible la generación masiva de energía eléctrica, primero impulsando los alternadores con máquinas motrices alternativas y luego con turbinas de vapor, medio este último aún en uso común en todo el mundo. La introducción de las múltiples aplicaciones de la energía eléctrica en las sociedades humanas provocó un inmenso cambio en sus formas de vida.

El gran salto en el transporte terrestre y la aparición de las máquinas voladoras tuvo lugar cuando se desarrollaron los motores de combustión interna que utilizaban derivados del petróleo, los llamados hidrocarburos, en especial la nafta y el gasoil. Asimismo, a partir de mediados del siglo XX se desarrollaron las turbinas de gas -que también consumen hidrocarburos-, cuyas primeras aplicaciones se hicieron para impulsar aviones de combate en reemplazo de los llamados motores a explosión, a finales de la segunda guerra mundial (1.939/1.945), para lograr mayores velocidades y alturas de operación. Con ambos tipos de plantas propulsoras -motores y turbinas de combustión- fue posible transportar objetos por tierra, aire y agua en cantidades y a velocidades antes impensadas. Automotores, aeronaves y barcos de todo tipo y tamaño, de uso civil o militar, fueron desarrollados y utilizados masivamente a tal punto, que su aparición junto con el uso múltiple de la electricidad, hecho que puede ya ser considerado una revolución en el desarrollo histórico de la humanidad. Los automotores y los aviones son entonces producto del desarrollo de máquinas propulsoras livianas con relación a su potencia, de operación confiable y económica, consumiendo combustibles que están disponibles a lo largo de todas las rutas nacionales e internacionales. El automóvil, por su costo accesible a una considerable porción de la humanidad, fue el mayor protagonista de este asombroso cambio.

La aparición de la energía eléctrica a fines del siglo XIX, sobre todo con las tantas y maravillosas aplicaciones que se le dio en el siglo siguiente, a precios al alcance de gran parte de la gente, fue sin duda el factor más poderoso de los que impulsaron el desarrollo humano en un brevísimo período de su evolución. A tal punto es así, que la desaparición repentina de toda forma de energía eléctrica provocaría una hecatombe mundial y el retroceso de la humanidad a las formas de vida del medioevo.

Por las razones mencionadas es fácil comprender porqué las naciones poderosas, grandes consumidoras de energía, en especial las que derivan del petróleo y su gas, luchan por la posesión de las fuentes que la suministran. Del petróleo y del gas que viene con él desde los yacimientos situados en las profundidades de la corteza terrestre, se producen todos los combustibles hidrocarbureados que hacen posible nuestra civilización.

Las naciones que poseyendo fuentes propias de energía no las cuidan como un valor estratégico, son países condenados a la dependencia económica de las potencias que controlan esas fuentes en el resto del mundo. Una forma de provocar una grave crisis en un país que no cuenta con sus propias fuentes de energía hidrocarbureada, o poseyéndolas no las controla soberanamente, es cortándole el suministro de energías y/o perturbar su producción propia.

En otro aspecto, las autoridades nacionales deberían ser muy conscientes de que el uso excesivo de los recursos energéticos de un país y/o la exportación desmedida de los mismos, sin tener en cuenta su monto disponible, puede llevar también a una delicada situación energética de difícil solución.

El uso intensivo de la energía no trae sólo beneficios. Está contaminando gravemente la biósfera del planeta, y a un ritmo acelerado a la par del aumento de su consumo. El grave problema del calentamiento global, la contaminación de la atmósfera, la tierra y las aguas y la disminución de la capa de ozono, son todos fenómenos de graves consecuencias para todas las formas de vida que pueblan el planeta. El uso racional de la energía en sus variadas formas puede desacelerar la destrucción de la biósfera de nuestro irremplazable planeta Tierra. La defensa de la naturaleza no es solo responsabilidad de los gobiernos, sino también de cada ser humano, dado que los daños afectan a todos. Hay muchas maneras al alcance de cada individuo para reducir la contaminación, y es una responsabilidad de cada uno aplicarlas.

Es de capital importancia investigar intensivamente y con urgencia -por arriba de las fuentes convencionales de energía, que son agotables y en general contaminantes- el dominio de otras formas de energía que son inagotables y mucho menos contaminantes, como la energía solar, la energía del viento, y otras, para reemplazar aquéllas. La energía térmica de la

fusión nuclear como la que ocurre en las estrellas, pero controlada especialmente para la producción de energía eléctrica, encierra una gran promesa como fuente de energía poco contaminante, pero las dificultades tecnológicas involucradas en su aprovechamiento han sido hasta hoy insalvables.

Agrava la crisis de la contaminación el gran crecimiento poblacional del planeta que hoy sufrimos, por no existir un efectivo control mundial de la natalidad, lo que también produciría una importante reducción de graves enfermedades, especialmente las de origen venéreo.

La humanidad no puede dejar de consumir energía para salvar al mundo, porque eso implicaría caer en formas de vida primitivas, por ello inaceptables. Pero es posible cambiar esta fatal tendencia destructiva si el hombre decide imponer con rigor el uso racional de la energía, desarrollando al mismo tiempo técnicas que primero reduzcan y finalmente eliminen la contaminación del planeta Tierra, el que sin lugar a dudas y más allá de toda fantasía, es el único lugar del cosmos donde la humanidad puede residir.

El futuro no está ya hecho, se construye trabajando con inteligencia y energía cada jornada.

Ing. V.D. Di Pelino.
Buenos Aires
Agosto del 2.003.