



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

**“INTRODUCCION A LA INGENIERIA AMBIENTAL PARA
LA INDUSTRIA DE PROCESOS”**

DR. CLAUDIO ALFREDO ZAROR ZAROR
PROFESOR TITULAR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Concepción – Chile

CAPÍTULO 4

ASPECTOS AMBIENTALES DE LA INDUSTRIA DE PROCESOS

El objetivo de este capítulo es entregar una visión general de la actividad productiva, con vistas a identificar sus aspectos ambientales más relevantes, y las alternativas existentes para mitigar aquellos efectos no deseados. Primeramente, a modo de referencia, se presenta una breve descripción histórica del desarrollo de la actividad productiva. A continuación, se revisan los recursos materiales y energéticos utilizados en la actividad humana y los tipos de residuos generados. Finalmente, se presentan los diferentes procesos industriales relevantes para la realidad nacional, poniendo énfasis en los requerimientos materiales y energéticos, los tipos de transformaciones utilizadas y la naturaleza de los residuos.

4.1) UN POCO DE HISTORIA

Para escribir la historia del desarrollo de la actividad productiva, se debe comenzar por el principio. Los avances científicos de estas últimas décadas, permiten suponer que:

- La Tierra se formó hace 4.500.000.000 de años.
- Los primeros rasgos de vida aparecieron hace aproximadamente 2.000.000.000 de años.
- El *Homo erectus* ya habitaba la Tierra hace más de 2.000.000 de años.
- Existe evidencia de entierros funerarios que tuvieron lugar hace 50.000 años.
- Los registros escritos más antiguos datan de hace menos de 4.000 años.

Tenemos cierto conocimiento de lo que han sido los últimos 4.000 años de historia (al menos, de aquellas regiones donde han quedado registros arqueológicos interpretables). Sin embargo, para conocer el desarrollo histórico de la evolución de la sociedad humana, de sus tecnologías y modos de producción en los largos cientos de miles de años de evolución, tenemos que basarnos en los restos fosilizados, dispersos y deteriorados, de huesos humanos y sus pertenencias básicas, de alfarería y piedra.

En un largo proceso evolutivo de millones de años, nuestro ancestro se irguió en sus dos extremidades inferiores, y liberó así sus extremidades superiores para otros usos. El pulgar fue capaz de tocar los otros dedos de la mano, permitiendo realizar actos de precisión. Sus ojos tuvieron la capacidad para apreciar la tridimensionalidad del entorno y adquirir el sentido de profundidad.

Su cerebro fue creciendo de tamaño, desarrollando áreas de memoria y asociación, cada vez más poderosas y sofisticadas. Generó un lenguaje que fue adquiriendo mayor complejidad y capacidad de abstracción. Acumuló una experiencia básica sobre el concepto del peligro y del miedo. El progreso se aseguró en profundos

cambios genéticos, y también en la capacidad para comunicar los conocimientos adquiridos de una generación a otra.

En sus inicios, los seres humanos eran recolectores, cuya supervivencia dependía de la existencia local de agua, animales de caza, peces, aves y frutos. Debían emigrar constantemente en busca de agua y alimentos, por causa del clima, cataclismos u otros eventos naturales, amenazas de otros grupos humanos o bestias, u otros factores que afectaban la disponibilidad de los elementos vitales. Transcurrieron decenas de miles de años en los que se fueron desarrollando diferentes aspectos de la sociedad humana, de los que se pueden mencionar (no necesariamente en orden cronológico):

- La comunicación y la cooperación social dieron origen a la división del trabajo.
- Se descubrió el uso del fuego. Su control permitió iluminar la noche y las cavernas, protegerse del frío, cocer los alimentos y la arcilla, ahuyentar las bestias; (La caverna iluminada y tibia, protegió a nuestros ancestros del frío y de las fieras; al mismo tiempo, parece haber creado el entorno apropiado para las primeras expresiones místicas, sobre la vida y la muerte).
- Se desarrollaron mejores herramientas de piedra, madera y hueso, más sofisticadas en su forma y en su función. Se descubrió la palanca y la rueda, para transportar materiales de construcción, alimentos y materias primas diversas.
- Se identificaron los ciclos climáticos. Se identificó el ciclo reproductivo de las especies animales y vegetales. Se desarrolló la actividad de crianza de animales y aves. La domesticación también dio origen a una mejor capacidad de transporte al contar con animales de carga y tiro. Se descubrió la agricultura. La crianza y la agricultura fueron generando una mayor independencia de la caza y la recolección, dando origen a un modo de vida más sedentario.
- Se desarrollaron estructuras sociales más sofisticadas, con una base cultural y mística más elaborada (¿habremos comenzado a enterrar nuestros muertos con la esperanza de que dicha cimiento daría origen a otro ser humano, tal como ocurre con una planta?).
- Se descubrieron los metales (bronce, hierro). Ello dio origen a herramientas más elaboradas y durables; a armas más letales. La guerra parece estar presente en la base de nuestra Historia: la territorialidad existe tanto en las bestias como en el hombre, la lucha por los recursos escasos (tales como cotos de caza y fuentes de agua), la rapiña, la motivación de capturar esclavos para sacrificios a las deidades, como mano de obra para el transporte, las obras civiles y la actividad productiva...
- Se formaron los primeros complejos urbanos: conglomerados habitacionales, estatales, religiosos, militares, productivos, en torno a las fuentes de agua y a la producción de alimentos.
- El cielo nocturno, con sus estrellas y su luna, con sus movimientos cíclicos, se transformó en el reloj, el calendario y la brújula.

- Se inventó la escritura. La importancia de este hecho puede ser homologada a la importancia del fuego y de la rueda. Permitió la continuidad en el tiempo de conocimientos, normas y principios, hechos, leyendas y mitos, técnicas, etc..

El mundo de hace 2.000 años ya mostraba en forma incipiente, en todos los Continentes, los elementos tecnológicos, políticos y filosóficos que caracterizarían el desarrollo social hasta los tiempos modernos. Se habían desarrollado a cabalidad las técnicas básicas de irrigación; los procesos de fermentación para bebidas alcohólicas, para la producción de fermentados de leche (queso, yoghurt) y granos, para la preservación de alimentos; los hornos para metalurgia y alfarería; los conceptos para obras civiles; los ingenios mecánicos para el transporte marítimo y terrestre, etc.. Estas tecnologías se mantuvieron casi sin alteración hasta fines del siglo XVII.

Sin embargo, la acumulación de avances en el conocimiento, los contactos crecientes entre las sociedades de Oriente y Occidente, la ruptura de los marcos restrictivos al libre pensamiento, entre otros factores, generaron un caldo de cultivo que daría origen a un cambio tan radical y acelerado, que en menos de dos siglos modificó la faz de la Humanidad. Este proceso revolucionario, que comienza a desencadenarse principalmente en Europa y que rápidamente se expande por todo el mundo, es demasiado complejo para ser cubierto en un texto de esta naturaleza.

Muchas de las innovaciones tecnológicas se basaron en principios que ya habían sido identificados siglos atrás, cuya aplicación productiva fue motivada, en gran medida, por las poderosas fuerzas del desarrollo económico capitalista. Los principales hitos tecnológicos que tuvieron lugar desde entonces se enumeran a continuación:

- La Revolución Industrial nace formalmente con la aplicación industrial del motor a vapor en la segunda mitad del siglo XVIII. Sin embargo, ello es fruto de un largo proceso de acumulación de conocimientos en diferentes áreas de la física aplicada (ej.: mecánica, termodinámica). En 1705, los mecánicos ingleses Newcomen y Savery construyen la primera máquina a vapor para aplicaciones prácticas. A mediados de ese siglo, J. Watt perfeccionó dicho ingenio logrando su total introducción al ámbito industrial¹. El descubrimiento del motor a vapor cambia radicalmente la capacidad para generar energía mecánica. Con anterioridad, las principales fuentes energéticas para mover ingenios mecánicos tales como vehículos, telares y molinos, provenían de fuente animal, hídrica o eólica. Con el advenimiento del motor a vapor, se incrementó la potencia disponible, así como la flexibilidad de uso (ej.: ya no se dependería de la existencia de un río caudaloso para instalar un molino o un telar). El motor a vapor significó una demanda acelerada de combustible,

¹ Watt introdujo el condensador para una mejor utilización del calor; un sistema para mejorar la distribución del vapor a ambos lados del pistón; un sistema articulado para unir el vástago del pistón, mediante un movimiento rectilíneo, a un balancín del que cada extremidad describe un arco de círculo; un volante para dar uniformidad al movimiento de la máquina; un regulador de bolas, para compensar las desigualdades en la producción de vapor.

carbón y leña, principalmente. Durante los siglos XVIII y XIX, aquellos países que experimentaron el mayor desarrollo industrial, fueron también víctimas de la depredación de sus bosques para alimentar los ineficientes motores a vapor.

- La pujante industria textil europea, haciendo uso de los motores a vapor, fue uno de los sectores que dinamizó los desarrollos en otras áreas. La demanda de algodón, carbón, madera, minerales, tinturas, lubricantes y otros insumos, se incrementó exponencialmente.
- La agricultura tampoco estuvo ajena a los nuevos cambios: la introducción de fertilizantes y sistemas de bombeo hidráulico de mayor potencia, permitieron incrementar la productividad agrícola y suplir así la demanda creciente de la nueva población obrera de los grandes centros industriales.
- Así también, se incrementaron las necesidades de transporte y comunicación. El ferrocarril no sólo facilitó el transporte terrestre de grandes tonelajes de carga, sino que también generó un brutal incremento de la producción siderúrgica a gran escala, con la consiguiente demanda por minerales de hierro, caliza, madera y carbón. Y también llegó el telégrafo y, más tarde, llegaría el teléfono...
- La división del trabajo se extremó, incrementándose los niveles de productividad en todas las áreas de la industria manufacturera. El modo de producción feudal había dado paso a un capitalismo pujante, que exigía acceso a nuevos mercados, fuentes de materias primas y energía. Un modo de producción basado en la competencia, que exigía innovaciones tecnológicas.
- Los grandes avances científicos que comenzaron a cristalizar durante el siglo XIX, dieron lugar a las aplicaciones del motor de combustión interna y a la electricidad. Ambos hicieron posibles nuevos desarrollos en el transporte, las comunicaciones y en todos los sectores de la industria de manufacturas. El motor de combustión interna, dio origen rápidamente a una demanda de combustibles apropiados a las necesidades de dicho ingenio. Una gran variedad de combustibles orgánicos (líquidos y gaseosos) obtenidos a partir de procesos de fermentación, fueron utilizados en diferentes diseños. El motor de combustión interna encontró primero aplicaciones en sistemas estacionarios, en reemplazo del viejo motor a vapor. Luego, comenzó a aplicarse en sistemas móviles para el transporte de carga y personas. A comienzos del siglo XX, la industria automotriz se establece como la nueva industria de punta, que tiene un gran efecto dinamizador sobre el sector combustibles, siderúrgico y químico. Bajo este alero, la industria del petróleo comienza a florecer, en conjunto con la industria del caucho.
- Por su parte, el desarrollo de ingenios eléctricos, abre un abanico de posibilidades de aplicación industrial y en comunicaciones. A pesar de que el descubrimiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos data de hace más de 2.000 años, sus aplicaciones productivas nacen durante el siglo XIX. Físicos e inventores como Coulomb, Galvani, Volta, Oersted, Ampère, Faraday, Ohm y muchos otros, sentaron las bases para una aplicación masiva de tales principios en todas las esferas del sistema productivo: la batería, el telégrafo, el dínamo, el motor eléctrico.

A fines del siglo XIX, la industria eléctrica estaba establecida, produciendo en gran escala sistemas para la generación y la utilización de la corriente eléctrica. Esto acelera el desarrollo de la industria del cobre, elemento que se impone como el conductor eléctrico preferido desde los primeros momentos. Junto a los conductores, también se desarrolla la producción de materiales aislantes, primero de origen natural y, posteriormente, de origen sintético.

- No es difícil imaginar que la demanda por materiales cada vez más sofisticados, con propiedades físicas y químicas específicas, sirvió de fuerza motriz al desarrollo de la industria química. Durante las primeras décadas del siglo XX, se consolida la industria química orgánica. El petróleo trae consigo una amplísima disponibilidad de compuestos, que sirven de base para la síntesis de nuevos materiales, culminando en la producción de polímeros sintéticos: nace así la industria del plástico.

- Es indudable que, junto a las fuerzas motrices puramente económicas, los desarrollos de la ciencia y la tecnología del siglo XX han sido motivados por los requerimientos militares de las grandes potencias. Junto a la competencia económica, se desarrolló también una carrera armamentista en Europa, EEUU y Japón, que data desde fines del siglo XIX. La necesidad de controlar nuevos mercados y fuentes de materias primas preferenciales, sumada a los conflictos potenciados por los grandes cambios políticos y económicos del último siglo, incrementaron la agresividad de los nuevos y viejos imperios. Ya en el siglo XIX, la demanda por explosivos cada vez más poderosos (para ser justos, ¡también con aplicación en minería y obras civiles mayores!) aceleró el desarrollo de la industria química. A partir de la primera guerra mundial, se produjo una carrera generalizada por explosivos y gases venenosos de mayor potencia letal, sistemas de comunicaciones de mayor alcance, armas más efectivas, vehículos más poderosos, aviones, etc. En las proximidades de la segunda guerra mundial, se había logrado espectaculares avances en aviación, transporte terrestre y marítimo, cohetes, explosivos y comunicaciones. Durante dicha guerra, el esfuerzo científico-tecnológico se orientó totalmente hacia las aplicaciones militares, logrando en menos de 6 años innovaciones que tendrían repercusiones por el resto del siglo XX. A fines de 1945, había tenido su nacimiento oficial la Era Atómica, la Era del Petróleo, la Era de la Química, la Era de la Cohetería, la Era del Jet, la Era de la Electrónica, la Era de la Computación, la Era de la Guerra Fría.....

Lo que viene después es historia conocida y nos trae rápidamente al mundo de hoy, de comienzos del siglo XXI, el mundo donde la ciencia ficción de hace algunas décadas se transforma en realidad².

Hoy, los avances científicos y tecnológicos han permitido cristalizar la ficción de los

² Es interesante constatar que, a pesar de estos avances tecnológicos y científicos, persisten algunos procesos que se vienen utilizando desde los tiempos primitivos. La industria alimenticia actual se basa en los mismos principios de preservación y procesamiento establecidos en la antigüedad; este sector industrial sigue siendo uno de los más importantes en todos los países. Una parte significativa de nuestros procesos de generación de energía se basa en la combustión de compuestos orgánicos (ya sea de origen renovable o fósil) para obtener energía calórica....

vuelos espaciales a lugares remotos, los microcircuitos integrados están presentes en cada ámbito de la vida y la ingeniería genética ha roto las barreras naturales. Estamos en pleno apogeo de la revolución informática y las comunicaciones, venciendo las barreras del espacio y del tiempo, multiplicando en varios órdenes de magnitud el volumen de información accesible por cada individuo. Ya son realidad establecida los megamercados, la globalización, y la apertura de grandes regiones al comercio mundial, procesos los cuales Chile ha estado estrechamente ligado.

La rápida urbanización y crecimiento de las ciudades durante la última mitad del siglo XX ha cambiado la faz de la Tierra. La magnitud de este proceso va de la mano con el crecimiento dramático de la población mundial y el incremento de la capacidad de producción industrial. Estos conglomerados urbano-industriales requieren de energía y materiales para su funcionamiento, llegando a consumir 1.000 veces más que un área rural de la misma extensión. Una ciudad industrial moderna puede requerir, diariamente, un equivalente per cápita de alimentos generados por 2.000 m² de terreno agrícola, el papel y otros productos forestales de 1.000 m² de bosques y 5 m³ de agua. Como subproducto de esta actividad, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de material particulado, SO₂, NO_x y otros gases, y grandes volúmenes de residuos sólidos y líquidos. Las ciudades modernas “viven” del medio rural ya que dependen de éste como fuente de alimentos y otros materiales orgánicos. A su vez, la ciudad exporta bienes, servicios y desechos, generándose una compleja interrelación entre las diferentes comunidades de una región.

Así, la materia y la energía fluyen constantemente de una zona a otra, en forma creciente, de la mano del “progreso” económico. Existe, por lo tanto, una imperiosa necesidad de armonizar el desarrollo industrial, urbano y rural para hacer posible un crecimiento sustentable, sin hundirnos en el abismo de un planeta estéril incapaz de sostener la vida humana. Es una tarea titánica que se enfrenta a la gran inercia de las fuerzas económicas, pero que debe ser encarada globalmente para que las próximas generaciones puedan disfrutar de un planeta saludable. En tal sentido, debemos recordar que la Agenda 21, acordada por las principales naciones en la Cumbre de Rio de Janeiro de 1992, nos entrega los lineamientos estratégicos para darle sustentabilidad al desarrollo de la Humanidad.

Para comprender mejor la dimensión ambiental de los procesos productivos, a continuación se revisa brevemente los tipos de recursos materiales y energéticos utilizados en la actividad humana.

4.2) REQUERIMIENTOS MATERIALES Y ENERGÉTICOS

4.2.1) Materias Primas Básicas

En general, las materias primas se pueden clasificar como renovables y no renovables.

a) Materias Primas Renovables

Son aquellas cuya regeneración puede ser lograda en un plazo relativamente breve, e incluye todas aquellas materias primas de origen vegetal o animal, no fosilizadas. Estas se obtienen, principalmente, de la explotación de recursos agropecuarios, forestales y marinos, siendo utilizadas directamente como fuente de alimentos o como combustible y materia prima industrial.

Todos estos recursos se obtienen directa o indirectamente a partir de la energía solar, que sustenta la actividad fotosintética primaria. La creciente expansión de la población y del sector productivo, ha obligado a aumentar el rendimiento por unidad de superficie, incorporando energía y materiales adicionales. Las prácticas modernas de producción agrícola y forestal requieren de un adecuado suministro de agua y de nutrientes limitantes (principalmente, nitrógeno, fósforo y potasio), así como de un efectivo control de plagas, enfermedades y otros agentes biológicos destructores. Más aún, se requiere de maquinaria y vehículos pesados que demandan materiales y energía para su fabricación y funcionamiento. Ello puede representar un considerable gasto energético adicional, que debe ser suministrado por fuentes no renovables (ej.: combustibles fósiles, materias primas no renovables). Por ejemplo, estimaciones hechas en EEUU, demuestran que en 1970, la energía adicional utilizada en ese país en la explotación agrícola, fue del orden de 640×10^9 kWh, lo que equivale al poder calorífico de 76 millones de toneladas de carbón. Más del 60% de la energía consumida por el sector agrario correspondió a combustible para tractores y maquinarias, y a energía para la fabricación de fertilizantes químicos. Estos valores no incluyen la energía utilizada en el procesamiento industrial de los productos agrícolas, ni en su preservación y consumo.

Desde el punto de vista de la sustentabilidad del desarrollo, interesa mantener una tasa de explotación no mayor que la tasa de regeneración del recurso. En el caso de los recursos de origen forestal y agrícola, es importante tomar en consideración la reducción en la productividad del suelo debido a técnicas de explotación inadecuadas, tal como se discute más adelante. En relación a los recursos marinos, resulta más difícil determinar el balance entre tasa de explotación y tasa de regeneración. Esto es altamente relevante, dados los grandes tonelajes de explotación forestal y marina que se realizan en Chile, por lo que se debe mantener una continua observación de los balances de biomasa, un monitoreo efectivo del "stock" de recursos disponibles y de la evolución de la productividad natural.

b) Materias Primas No Renovables

Se definen como aquellas cuya tasa de regeneración natural es demasiado lenta (es decir, en la escala de los ciclos geológicos). Aquí se pueden distinguir materias primas de origen fósil y de origen mineral.

Las primeras incluyen aquellos materiales de origen orgánico que, con el transcurso del tiempo y las altas presiones y temperaturas del subsuelo, han sufrido transformaciones físicas y químicas. Las más importantes en este rubro son el petróleo, el gas natural y el carbón mineral. Las materias primas minerales incluyen todos aquellos compuestos minerales de uso industrial (ej.: mineral de cobre, hierro, nitratos, carbonatos, sulfatos, etc.).

La explotación de estos recursos no renovables debe hacerse tomando en consideración el "stock" disponible. Sin embargo, la velocidad de consumo de estos materiales está estrictamente determinada por factores económicos y tecnológicos.

Las transformaciones químicas que acompañan a la explotación industrial de los recursos fósiles y minerales aceleran los flujos de estos materiales a través de los ciclos geoquímicos. Por ejemplo, los átomos de S y N que se encuentran en los compuestos fosilizados son oxidados y emitidos a la atmósfera como SO_2 y NO_x , cuando estos recursos son utilizados como combustibles. La explotación de minerales sulfurados constituye otra fuente importante de SO_2 de origen antrópico.

4.2.2) Requerimientos Energéticos

La historia de la civilización está estrechamente ligada a la disponibilidad de fuentes de energía. Las sociedades primitivas (preneolíticas) de recolectores y cazadores vivieron como parte de las cadenas tróficas en ecosistemas naturales, alcanzando su máxima densidad de población en aquellas regiones donde existía un subsidio energético adicional, tal como en las zonas costeras y en las riberas de los ríos. Al aparecer la agricultura y la acuicultura, la capacidad de producción aumentó en forma significativa, una vez que los seres humanos aprendieron a incorporar nuevas formas de energía a los procesos naturales de producción de alimentos.

Durante siglos, la madera y otros productos fotosintéticos constituyeron la principal fuente de energía, junto con la energía hidráulica, animal y humana, sustentadas a su vez por la energía solar. Más tarde se incorporaron los combustibles fósiles, las máquinas de combustión interna y, durante el último siglo, la energía eléctrica y nuclear.

Se ha logrado tener acceso a fuentes de energía altamente concentradas, que han abierto las puertas a una capacidad de producción jamás soñada hace menos de medio siglo atrás. En esta sección se revisan brevemente las diferentes fuentes de energía disponibles para consumo industrial.

Fuentes Energéticas para Uso Industrial

Típicamente, los procesos industriales modernos utilizan tres formas energéticas básicas: energía calórica, energía mecánica y energía eléctrica.

a) Energía Calórica

La mayoría de los procesos industriales requieren de temperaturas mayores que la temperatura ambiente, llegando en muchos casos a varios centenares de grados. La energía calórica se utiliza a escala industrial para aumentar la temperatura de los materiales y, como consecuencia de esto, producir cambios físicos y/o químicos de interés. Se necesita energía calórica en procesos de cocción, secado, evaporación, concentración, tostación, fundición, destilación, pirólisis, etc. También se utiliza energía calórica para producir energía mecánica y eléctrica.

La energía calórica para uso industrial puede provenir de varias fuentes:

- De la energía solar directa.
- De la combustión de material orgánico (ej.: carbón, leña, gas, petróleo y derivados).
- De una corriente de fluido caliente (ej.: vapor de agua, gas).
- De la energía geotérmica.

La combustión de un material orgánico representa la fuente de energía calórica más importante en la actualidad. Al quemar el combustible se genera dióxido de carbono y agua. Esta reacción es exotérmica y el calor liberado dependerá del nivel de oxidación del carbono. Si el combustible contiene, además, azufre y/o nitrógeno, éstos se oxidan formando óxidos de azufre (SO_2) y/o nitrógeno (NO_x), respectivamente. En caso de que el proceso de combustión no sea completo, se generan compuestos intermedios, tales como CO, alquitranes, mercaptanos y otros compuestos orgánicos volátiles. Cuando el combustible contiene minerales (ej.: sodio, fierro, calcio), se forma un residuo sólido (ceniza) que está compuesto, principalmente, de los óxidos de los minerales respectivos. Las cenizas finas escapan, normalmente, con los gases de combustión en forma de material particulado.

En los procesos industriales, el calor liberado por la reacción de combustión se puede utilizar directamente, como por ejemplo, en el caso de un horno con calentamiento directo. El calor liberado por la llama o el alto contenido calórico de los gases provenientes de la combustión se utiliza para llevar a cabo el calentamiento deseado. Alternativamente, el calor de combustión puede ser utilizado para calentar un fluido (ej.: agua) en una caldera y utilizarlo como agente calórico. La gran mayoría de las aplicaciones de este tipo utiliza vapor de agua como agente calórico. En muchas industrias, se aprovecha líneas de fluido caliente que requieren ser enfriadas, para calentar corrientes que necesitan aumentar su temperatura. En el caso de la generación de energía eléctrica a partir de combustión (es decir, termoeléctrica), el proceso consiste en calentar vapor de agua a alta presión, que se utiliza en una turbina para generar electricidad.

La energía solar es la principal fuente de energía calórica existente en la Naturaleza. Esta fuente de energía calórica es "renovable" y la superficie de la Tierra recibe alrededor de 340 W/m^2 ; lo que representa un impresionante potencial energético. La energía calórica solar, sumada a la presencia de gases invernadero, permite mantener las condiciones térmicas en la superficie terrestre apropiadas para la vida, y es la fuente primaria del movimiento de las grandes masas de agua y aire en la Tierra. Más aún, la energía solar es el sostén fundamental de la actividad fotosintética, a partir de la cual se generan todos los recursos orgánicos de la Tierra. Sin embargo, el uso directo de la energía solar para proveer energía calórica a escala industrial, no es significativo a nivel global, comparado con la magnitud de estos procesos naturales. La utilización productiva directa de la energía solar se da en el secado de productos alimenticios, en procesos de evaporación y cristalización, y en el calentamiento de agua de procesos utilizando colectores solares.

b) Energía Mecánica

La energía mecánica se requiere para el transporte y transformación física de las materias primas. El transporte de materias primas dentro del circuito productivo constituye un importante consumo de energía mecánica. Todas las instalaciones industriales poseen bombas y/o compresores, para aumentar la presión de los fluidos e impulsarlos a través de los diferentes ductos. A su vez, donde se utilice materias primas sólidas, se encontrará correas transportadoras u otros vehículos para su transporte.

Normalmente, los procesos que utilizan materias primas sólidas requieren de operaciones para reducción de tamaño u otra forma de procesamiento mecánico. Esto se puede ilustrar para el caso de la producción de astillas a partir de troncos; el desfibrado mecánico de astillas de madera; las operaciones de molienda en la industria minera; la producción de harina a partir de trigo, etc.. Todas estas operaciones se caracterizan por su alta demanda de energía mecánica.

La energía mecánica puede provenir de diferentes fuentes, como por ejemplo:

- La tracción animal.
- La energía cinética de un cauce natural de agua o del viento.
- Los motores a vapor, de combustión interna, o eléctricos; estos últimos son las fuentes más utilizadas en la industria moderna.

c) Energía Eléctrica

En Chile, el sector generador de energía eléctrica está constituido por un conjunto de centrales hidroeléctricas y termoeléctricas a lo largo del país, destinado a satisfacer la demanda eléctrica del sector industrial y doméstico. El año 1997 se produjo cerca de 30 millones de MWh, lo que representa un consumo per cápita del orden de 4,5 KWh/persona/día. El incremento anual de la demanda en la última década es del orden de 1-2 millones de MWh, siguiendo estrechamente el incremento del PIB. Como referencia, cabe señalar que una central hidroeléctrica de 400 MW puede generar un máximo de 3,5 millones de MWh/año, operando continuamente a plena

capacidad; es decir, estaríamos requiriendo una nueva central cada 3 años.

Otras fuentes de energía incluyen los combustibles derivados del petróleo (gasolina, kerosene, gas licuado), gas natural, carbón (mineral y vegetal) y leña. En 1997, ellos generaron del orden de 60 millones de MWh, de los cuales casi el 50% se debe a la combustión de derivados del petróleo. La creciente importación de gas natural permite proyectar un fuerte incremento de su contribución a la generación de energía en el país.

De acuerdo a datos de 1997, la mayor parte de los combustibles del petróleo se consumen en transporte (51%) y en el sector industrial y minero (23%). El 70% del consumo de leña corresponde al sector doméstico, mientras que la industria consume el 24% (principalmente, la industria forestal).

La energía eléctrica se consume industrialmente en iluminación, motores eléctricos y calefactores. La energía eléctrica se puede obtener a partir de varias fuentes primarias:

- A partir de la energía potencial hidráulica (es decir, hidroeléctrica).
- A partir de la energía química de combustibles fósiles (es decir, termoeléctrica).
- A partir de la energía nuclear.
- A partir de la energía solar (celdas fotovoltaicas).

En muchos casos, la energía eléctrica es producida en las mismas plantas industriales, utilizando sistemas de cogeneración. Por ejemplo, los residuos de la industria forestal pueden ser utilizados como combustible en plantas termoeléctricas, generándose alrededor de 400 kWh por tonelada de residuos.

4.3) FUENTES Y TIPOS DE RESIDUOS

Los residuos se pueden clasificar según su estado físico en residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Dichos residuos se generan en todos los ámbitos de la actividad humana, tanto doméstica como industrial. A continuación se revisan brevemente las principales características de los residuos.

4.3.1) Residuos Sólidos

Los residuos sólidos se generan tanto en la actividad doméstica como industrial, y constituyen un problema ambiental crítico en la sociedad industrial moderna.

Residuos Sólidos de Origen Doméstico

Aquellos residuos generados por la actividad doméstica constituyen uno de los principales problemas ambientales de las grandes ciudades. La tasa diaria de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) está en el rango 0,5-1,5 kg/habitante, dependiendo del nivel de desarrollo económico y del grado de urbanización. En