



**COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA,
MINERÍA Y AMBIENTE**

11° CICLO – AÑO 2017

BIBLIOGRAFÍA N°7:

TEMAS:

1) Gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos

2) Energía Biomasa

3) Rocas de aplicación

1 - Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU)

Introducción

Todas las actividades humanas generan residuos y estos deben ser gestionados y dispuestos en forma ambientalmente correcta, minimizando los posibles impactos sobre la salud y el medio ambiente.

En el último siglo las actividades humanas han producido una enorme degradación del ambiente. El crecimiento exponencial de la población combinada con un incremento del consumo, ha llevado a una explosión en la cantidad de residuos producida. Al mismo tiempo resulta difícil encontrar sitios para la instalación de rellenos sanitarios.

Encontrar una solución a la crisis de la gestión de los residuos no es sencillo. El problema es grande, vital en términos de impacto al medio ambiente y complejo en alcance, involucrando no solamente a los aspectos técnicos sino también a los sociales, políticos y regulatorios.

RESIDUOS SÓLIDOS: UNA CONSECUENCIA DE LA VIDA

Todas actividades humanas generan residuos desde el comienzo de la humanidad, por lo tanto la generación de residuos sólidos son una consecuencia de la vida.

Antes de la revolución industrial, los residuos estaban compuestos principalmente de cenizas, maderas, huesos y restos de materiales orgánicos. Estos eran dispuestos en la tierra, donde actuaban como estiércol vegetal ayudando a mejorar el suelo.

Los antiguos sitios de disposición excavados por arqueólogos revelan solamente pequeñas cantidades de cenizas, herramientas rotas y de restos de cerámica, en esa época se reparaba y reutilizaba todo lo posible. A medida que fueron creciendo las poblaciones resultó necesario el desarrollo de sistemas de disposición final de los residuos, tal cual fue observado en Creta, Atenas y Roma, que debieron organizar primitivos “rellenos sanitarios”, en las afueras de las Ciudades. Los pobladores no entendían que los residuos eran un problema para la salud, se limitaban a quemar sus residuos, enterrarlos o arrojarlos a las calles. Este arrojado indiscriminado de residuos, generó condiciones insalubres en la población, debido a los olores nauseabundos y la proliferación de ratas y vectores en las Ciudades.

Las deficientes condiciones sanitarias y la falta de regulación en la disposición de los residuos, provocaron a lo largo de la historia innumerables epidemias, una de las más recordadas es la **muerte negra, peste bubónica o peste negra**¹, que forma parte de la memoria colectiva de la humanidad por su acción devastadora. La proliferación de las ratas que portaban la enfermedad se vio favorecida por los residuos que eran depositados en cualquier sitio. Esta terrible pandemia asoló la Europa de la Edad Media, durante el siglo XIV, se expandió por Europa Occidental y África del Norte, y provocó la muerte de alrededor de **75 millones de personas** (estimándose el 50% del total de la población de Europa en ese momento). La

¹ La peste bubónica se transmite por la picadura de una pulga que, habitualmente, parasita las ratas. Se caracteriza por provocar protuberancias con pus (bubones) en la zona de la ingle, axilas, cuello, etc; causando la muerte hasta en cuestión de horas. Manifiesta tres variantes, la bubónica caracterizada por la aparición de bubones; la septicémica, que se manifiesta con manchas púrpuras en la piel pero sin bubones, sin pus; y la neumónica, que sucede cuando el microorganismo alcanza los pulmones de un infectado y entonces se hace transmisible por el aire de la misma forma de contagio que el resfriado común.

despoblación era tal, que la gente pensaba que era el fin de la humanidad. A este hecho se le atribuyen profundos cambios en la historia de Europa, como el fin de la Edad Media, la división espiritual de Europa, entre otros.



La Peste Negra en Italia en 1348, según una ilustración de Marcello

La Revolución Industrial, en el siglo XVIII, produjo una necesidad de disponibilidad de materias primas y un considerable aumento en las poblaciones urbanas (en busca de trabajo), estimulando el desarrollo de nuevas invenciones y maquinarias. Estas poblaciones en crecimiento, así como la producción industrial creciente contribuyeron a la mayor generación de residuos sólidos.

Los gobiernos comenzaron a tomar cartas en el asunto debido a los potenciales problemas de una mala gestión de efluentes y los residuos, comenzando así con la “era del Saneamiento”. A partir de ese momento se comenzaron a desarrollar sistemas organizados de recolección y disposición de los residuos, que se van optimizando continuamente.

GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN UNA SOCIEDAD TECNOLÓGICA

Antes de la Revolución Industrial, los residuos generados eran en su gran mayoría del tipo orgánicos –fácilmente biodegradables-, (desechos de alimentos, restos de poda, huesos, etc.), y materiales inertes (cenizas, restos de cerámica, etc.). A partir de la Revolución industrial, los residuos sólidos generados comenzaron aumentar en cantidad y en peligrosidad (debido al comienzo de la fabricación de productos químicos de alta toxicidad). Los beneficios de las nuevas tecnologías, vinieron asociados con los problemas de la gestión de residuos resultantes.

A partir de los años 1960 a 1970, comenzó a generalizarse la utilización de envases y embalajes (E&e) para distintos productos que anteriormente se comercializaban en forma suelta o al peso. Esto generó un aumento gradual de la cantidad de residuos, ya que los envases y embalajes son descartados luego del consumo del contenido. En la actualidad alrededor del 25-30% del total de los RSU generados corresponden a envases y embalajes.

Por otra parte, la calidad de los residuos sólidos ha variado en los últimos años debido a los cambios en los hábitos y costumbres de la población asociados a la nueva comercialización de los productos alimenticios (congelados, pre-elaborados, etc.), así como la proliferación de los alimentos procesados. Esto conlleva a un aumento del contenido de plásticos y cartones y una disminución de la presencia de desechos alimenticios (restos de la preparación y consumo de alimentos).

SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE LOS RSU

Los residuos sólidos comprenden todos aquellos que provienen de las actividades humanas, que normalmente son sólidos (ó semisólidos), y son desechados como inútiles o superfluos por los propios generadores. Son una consecuencia de la vida; todas las actividades los generan.

“La Gestión de Residuos Sólidos (GRSU) es la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y disposición final de los residuos, en forma armónica con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de los principios ambientales, respondiendo a las expectativas del público”.²

Los elementos funcionales de un Sistema de GRSU son:

- Generación
- Manipulación y separación, almacenamiento y procesamiento en origen
- Recolección
- Separación y procesamiento, transformación de residuos sólidos
- Transferencia y transporte
- Disposición final

Los distintos elementos se encuentran interrelacionados, cualquier modificación tiene un efecto directo sobre los siguientes.

JERARQUIA DE LA GESTION DE LOS RESIDUOS

Tal cual lo establecido en la Jerarquía de la Gestión de Residuos (Agenda 21 – Río 1992), la tendencia en la GRSU, es maximizar la **reducción en origen** (rango más alto de la jerarquía), que implica reducir la cantidad de residuos y/o toxicidad de estos, mediante la implementación de nuevas legislaciones, tales como leyes de envases y embalajes.

La reducción en origen involucra no solamente el compromiso de la comunidad, sino también de las autoridades nacionales y provinciales que propicien leyes, incentivos industriales e impositivos para la industria, con continuidad en el tiempo. Por otra parte, la industria debe realizar cambios tecnológicos, tales como suplantar materias primas tóxicas, fabricar productos con mayor vida útil, o la producción de envases más livianos, biodegradables, utilizando mayor cantidad de materiales reciclados.

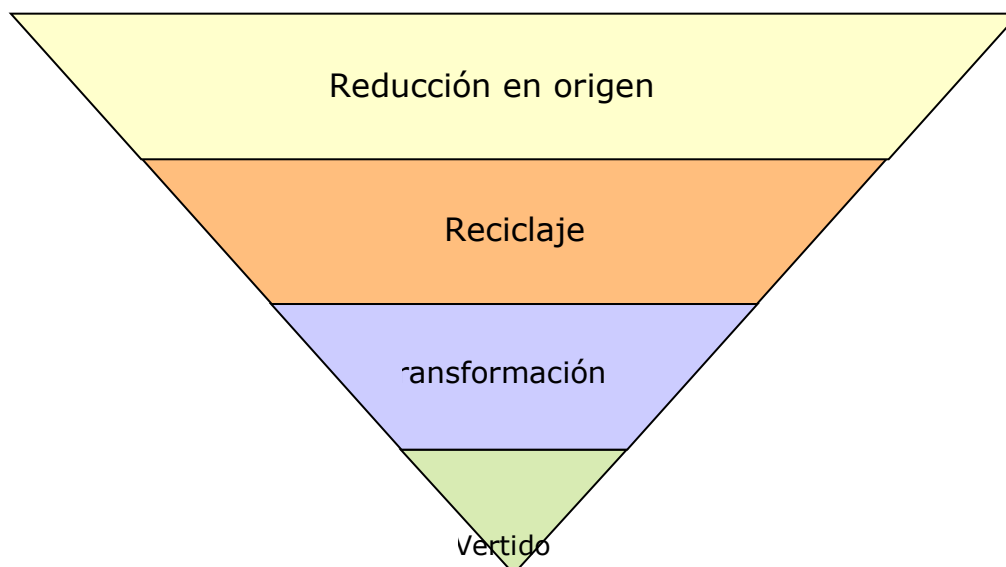
En el segundo lugar en la jerarquía GRSU está el **reciclaje**, que implica la separación y la recuperación de materiales, para su reutilización o reuso, así como la fabricación de nuevos productos. El reciclaje es un eslabón fundamental para minimizar la demanda de recursos naturales y energía, como también para reducir la cantidad de residuos enviados a la disposición final.

Cabe destacar que todos los tratamientos, sean estos físicos, químicos o biológicos, generan residuos que deben ser ambientalmente dispuestos y controlados, ya que no existe “*tecnología de producción nula de residuos*”.

Por lo tanto, se puede afirmar que cualquier sistema de Gestión Integral de RSU tendrá que contar como eslabón final en la cadena con un Centro de Disposición Final, tal cual se observa en la Figura que sigue:

² Tchobanoglous, G. et al. (1994), *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*, Mc Graw-Hill.

Jerarquía de la Gestión Integral de RSU³



MARCO LEGAL APLICABLE A LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RSU

En nuestro país el **artículo 41 de la Constitución Nacional** establece que todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo.

El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Asimismo, se determina que las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Por otro lado la **Ley 25916 y Decreto 1158/04**, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.

Allí se define como gestión integral de residuos domiciliarios al conjunto de actividades interdependientes y complementarias entre sí, que conforman un proceso de acciones para el manejo de residuos domiciliarios, con el objeto de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población.

Establece como objetivos lograr un adecuado y racional manejo de los residuos domiciliarios mediante su gestión integral, a fin de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población; promover la valorización de los residuos domiciliarios, a través de la implementación de métodos y procesos adecuados; minimizar los impactos negativos que estos residuos puedan producir sobre el ambiente; y lograr la minimización de los residuos con destino a disposición final.

Establece la necesidad de aprobación de una Evaluación de Impacto Ambiental para la habilitación de estos centros de tratamiento y disposición final, así como la

³ Agenda 21 – Río 1992 - Jerarquía de la Gestión de Residuos - Capítulo 21, el "Manejo Ecológicamente Racional de los Residuos Sólidos", cuyos postulados fueron retomados y enfatizados en la Cumbre de Johannesburgo 2002. Las conclusiones de ambas cumbres, orientadas a la promoción de acciones, pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

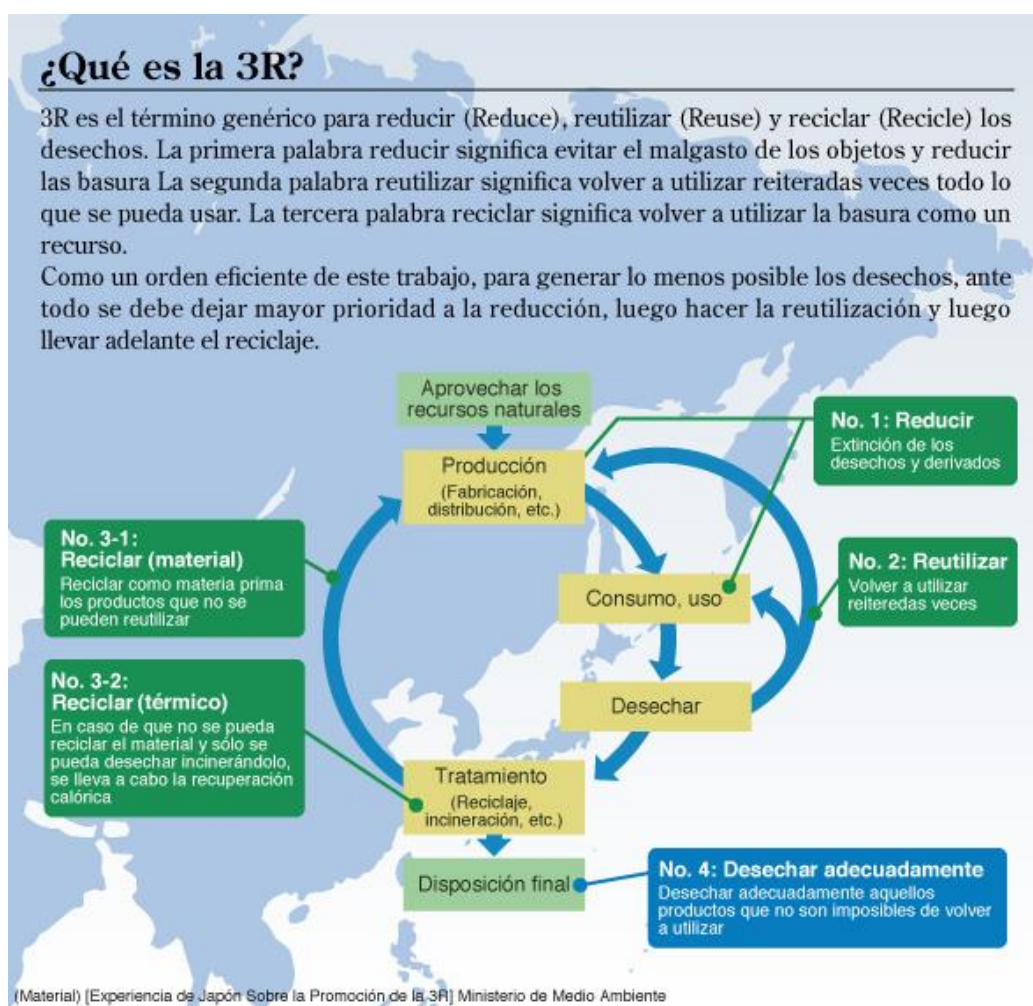
- Minimización de la generación,
- Maximización de la reutilización, el reciclado y su comerciabilidad,
- Ampliación del alcance de los servicios relacionados con los residuos.

ejecución de un Plan de Monitoreo de las principales variables ambientales durante las fases de operación, clausura y postclausura.

Determina que los centros de disposición final deberán ubicarse en sitios suficientemente alejados de áreas urbanas y su emplazamiento deberá determinarse considerando la planificación territorial, el uso del suelo y la expansión urbana durante un lapso que incluya el período de postclausura. Asimismo, no podrán establecerse dentro de áreas protegidas o sitios que contengan elementos significativos del patrimonio natural y cultural. Los centros de disposición final deberán ubicarse en sitios que no sean inundables. De no ser ello posible, deberán diseñarse de modo tal de evitar su inundación.

Las 3R

Hace ya un tiempo que las políticas ambientales en todo el mundo conceden la máxima prioridad a la prevención de los residuos, es decir, a la no generación seguida de su reutilización, reciclaje y valorización; dejando para el último lugar su eliminación segura. Muchas políticas en todo el mundo priorizan la llamada minimización, también conocida como **3R**, reducir-reutilizar-reciclar.



Reducir:

Quiere decir utilizar menos materias, menos agua y menos energía.

Reutilizar:

Quiere decir no tirar las cosas cuando todavía son útiles.

Reciclar:

Quiere decir utilizar los residuos para elaborar nuevos productos.

Da la sensación de que estas medidas han sido más voluntaristas que efectivas, pues cada año sigue aumentando la cantidad de residuos que se generan por habitante y por día. Salvo casos aislados como en Japón donde a partir de fuertes políticas y campañas educativas han logrado bajar los porcentajes a partir del año 2000.

RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

La recolección de los residuos sólidos domiciliarios se define como las actividades de la toma de los residuos en el punto de generación, su transporte y descarga en los sitios de transferencia, de procesamiento o disposición final. La recolección de los RSU es una de las partes más críticas de los sistemas de gestión, debido a su alto costo. Cabe destacar que, la recolección de los RSU representa aproximadamente entre el 50 al 70% del total del costo del sistema de gestión.

SERVICIOS DE RECOLECCIÓN

Mientras que las actividades de transporte y descarga son similares para la mayoría de los sistemas, la metodología de recolección en el punto de generación varía según las características de las instalaciones, el tipo de actividades, y la ubicación donde estos se generan, así como el modo y los medios de almacenamiento en origen previo a su recolección.

En la siguiente tabla se comparan los distintos sistemas de recolección existentes.

Comparativa de los sistemas de recolección			
Sistema de recolección	En acera (con bolsas)	En acera (con contenedores)	Contenedores en esquinas o en puntos fijos
Ventajas	Menor costo de inversión para el servicio de recolección.	- Menor riesgo de accidentes del personal de recolección. - Minimización de los problemas de los perros vagabundos.	- Los vecinos pueden disponer sus residuos en cualquier horario. - Es el método más económico. - Es una solución óptima para zonas de baja densidad y bajo nivel socioeconómico. - Menor requerimiento de personal. - Los servicios de recolección son los responsables de la limpieza y mantenimiento de los contenedores
Desventajas	- En los horarios y días de recolección las bolsas se encuentran expuestas. - Los días de recolección deben tener un horario establecido. - Los vecinos son los responsables de colocar las bolsas en las aceras. - Problemas con perros vagabundos. - Mayor riesgo de accidentes del personal de recolección	- Necesidad de equipos de recolección con sistema de levanta contenedores. - En los horarios y días de recolección los contenedores se encuentran expuestos. - Los días de recolección deben tener un horario establecido. - Los vecinos son los responsables de colocar los contenedores en punto de recolección y retirarlos luego de su vaciado. - Los vecinos son los responsables de la limpieza y mantenimiento de los contenedores. - Problemas de robo y vandalismo.	- Los residentes deben transportar sus residuos hasta el contenedor. - Pueden ocurrir vertidos ilegales en sitios no especificados - Problemas de robo y vandalismo. - Alto costos de inversión en contenedores y vehículos con sistema de levanta-contenedores. - Mayor costo por lavado y mantenimiento de contenedores.

Fuentes: Elaboración propia - Keith F., Tchobanoglous G. (2002), *Handbook of Solid Waste Management, (Second Edition)* McGraw-Hill

Recolección de residuos no seleccionados: Se refiere a los residuos sin ningún tipo de selección previa. Esta recolección no es recomendable cuando los residuos son enviados a una planta de separación y reciclaje, dado que se produce una alta contaminación de los materiales potencialmente reciclables, disminuyendo los porcentajes de recuperación, así como los precios de los materiales recuperados.

Recolección diferenciada: Los materiales potencialmente reciclables separados en origen pueden ser recolectados mediante la recolección en acera, utilizando tanto vehículos convencionales como especiales -con caja compartimentada- o dispuestos en contenedores específicos ubicados en puntos fijos, (por ejemplo: esquinas o áreas verdes). Por otra parte, se ha observado en otros países, que los ciudadanos envían estos materiales a centros de recolección selectiva, ubicados especialmente en supermercados. Cabe destacar que los programas de reciclaje más exitosos, a nivel mundial, son los que realizan la recolección diferencial puerta a puerta, observándose en ellos una tasa de participación más alta de la comunidad.

TRANSFERENCIA Y TRANSPORTE DE RSU

La recolección de los RSU en ciudades y áreas metropolitanas, se realiza mediante camiones compactadores. Estos vehículos al completar su carga, se dirigen a las plantas de tratamiento y/o sitios de disposición final para efectuar la descarga. Debido al aumento de la población, con el consiguiente crecimiento de las áreas urbanizadas, los centros de tratamiento y disposición final se encuentran cada vez más alejados provocando mayores costos de transporte. Solucionan esta situación las “**estaciones de transferencia**”. En estas instalaciones, los residuos de los camiones recolectores son transferidos a equipos de transporte de mayor capacidad de carga, con el objetivo principal de abaratar costos de transporte y mantenimiento en los camiones recolectores, que de otra forma estarían siendo usados en una forma y condiciones que no son las especificadas por su diseño.



SISTEMAS DE TRANSFERENCIA

El propósito de los sistemas de transferencia es recibir los residuos sólidos de los vehículos recolectores para transferirlos a un vehículo de mayor capacidad y así ser transportados a la planta de tratamiento o al sitio de disposición final. Estos grandes vehículos suelen ser trailers, vagones de ferrocarril y/o barcos.

En la actualidad, el sistema de transferencia para residuos sólidos municipales es indispensable como solución para las grandes ciudades, debido al progresivo alejamiento de los sitios de tratamiento y de disposición final.



Los trailers de transferencia generalmente transportan una carga útil aproximada de 20-25 toneladas de residuos, y reciben un promedio de dos a tres vehículos recolectores de gran capacidad (20 a 24 m³). También se pueden utilizar cajas tipo roll-off de menor tamaño según necesidad.

TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los métodos utilizados para la recuperación de materiales separados en origen, comienzan con la recolección diferencial y finalizan en una planta de separación y procesamiento adicional de estos materiales previamente segregados en origen.

Las instalaciones para la separación de materiales son más eficientes si se diseñan en forma integral, es decir que no sólo cuenten con una instalación para separación, sino que deben incluir plantas de compostaje, así como de procesamiento de los materiales recuperados para convertirlos en insumos para la industria. Además, deben tener en cuenta normas de seguridad e higiene para garantizar correctas condiciones de trabajo para los operadores.

Por otra parte, dentro de las alternativas de tratamiento se han considerado los procesos de transformaciones químicas y biológicas que se emplean para reducir el volumen y el peso de los residuos, así como para recuperar productos de conversión y energía.

El proceso de transformación química más frecuentemente utilizado es el de incineración, que actualmente se diseña para la recuperación de energía, en forma de calor. El proceso de transformación biológica más comúnmente utilizado es el compostaje aeróbico.

A continuación se resumen las operaciones y procesos de transformación utilizados para el tratamiento de los RSU, así como los principales productos resultantes

Operaciones y procesos de transformación de los RSU			
Procesos de transformación		Medio o método de transformación	Principales productos recuperados y de conversión o transformación
FÍSICOS	Separación de componentes	Separación manual y/o mecánica	Materiales recuperados de los RSU seleccionados y acondicionados
	Reducción de volumen	Operación mecánica	Materiales compactados con la consiguiente reducción de volumen respecto de los componentes originales
	Reducción de tamaño	Operación mecánica	Material triturado de menor tamaño y reducción de volumen respecto de los componentes originales
QUÍMICOS	Combustión	Proceso de oxidación térmica	Dióxido de carbono (CO ₂), dióxido de azufre (SO ₂), agua (H ₂ O) y otros productos de combustión. Material particulado liviano y cenizas
BIOLÓGICOS	Compostaje	Proceso de tratamiento biológico aeróbico	Compost (material húmico utilizado como acondicionados de suelos)
	Lombricultura	Proceso de tratamiento biológico aeróbico	Lombricompuesto (material de la digestión utilizado como mejorador de suelos) + Lombrices (como fuente de proteínas)
	Digestión anaeróbica	Proceso de tratamiento biológico anaeróbico	Metano (CH ₄), dióxido de Carbono (CO ₂), trazas de otros gases, humus o fangos digeridos
Fuente: Tchobanoglous, G.(1994), <i>Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues</i> , Mc Graw-Hill			

La eficiencia de los procesos de transformación y procesamiento de los RSU depende directamente de la forma de recolección de los mismos (diferencial, o no seleccionados). En el primer caso, ésta es más alta y se producen menores cantidades de rechazos.

Separación de Materiales Recuperables

La separación de RSU se realiza para recuperar materiales potencialmente reciclables del flujo de RSU. El reciclaje disminuye el volumen de residuos a ser dispuestos en los rellenos permitiendo, así una mayor conservación de recursos naturales y de energía para la fabricación de nuevos productos, minimizando los impactos para la Salud Pública y el medioambiente. Brinda entonces un beneficio económico y ambiental para la comunidad.

Los métodos utilizados para la recuperación de materiales separados en origen, comienzan con la recolección diferencial y finalizan en una planta de separación y procesamiento adicional de estos materiales previamente segregados en origen.

Las instalaciones para la separación de materiales son más eficientes si se diseñan en forma integral, es decir que no sólo cuenten con una instalación para separación, sino que deben incluir plantas de compostaje, así como de procesamiento de los materiales recuperados para convertirlos en insumos para la industria. Además, deben tener en cuenta normas de seguridad e higiene para garantizar correctas condiciones de trabajo para los operadores.

El reciclaje de materiales del flujo de residuos, incluye las siguientes actividades:

- La recuperación de materiales del flujo de residuos mediante recolección diferencial de los distintos componentes.
- Selección y acondicionamiento de los materiales recuperados según lo especificado por los compradores.
- Transporte de los materiales a los puntos de comercialización y/o fabricación.
- En algunos casos, se necesita realizar un procesamiento adicional para transformar los materiales recuperados en materia prima para la industria.

Para la sustentabilidad de un programa de reciclaje se deben garantizar la seguridad e higiene de los trabajadores, el mercado de los productos de conversión y energía y la legislación necesaria para el fortalecimiento de la regulación y control de la utilización de estas tecnologías, no perdiendo de vista el objetivo del cuidado de la salud pública, la minimización de los impactos sobre el medio ambiente y la rentabilidad económica de los insumos a ser producidos.

Las transformaciones necesarias para introducir los materiales recuperados al mercado tienen un costo, que en la mayoría de los casos es elevado, porque para que un programa de reciclaje sea exitoso se debe llevar a cabo la segregación en origen (recolección diferenciada) para minimizar la contaminación de los materiales. Se debe además concientizar en forma permanente a la comunidad participante para que tenga en claro los objetivos del mismo y realizar grandes inversiones para que los residuos sean considerados insumos por los consumidores, alcanzando las especificaciones técnicas necesarias, mediante su correcto procesamiento y en condiciones sanitarias y de seguridad, así como desarrollar los mercados para los materiales, evaluándose meticulosamente en que condiciones estos dejan de ser residuos para convertirse en recursos codiciados por los potenciales consumidores.

REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE

Los materiales recuperados en las instalaciones para la recuperación de materiales para su reutilización y reciclaje pueden utilizarse según distintos usos posibles, que se presentan a continuación:

- Reutilización directa (tales como maderas, pallets, etc.).

- Materia prima para la fabricación y reprocesamiento (aluminio, papel y cartón, plásticos, vidrios, metales ferrosos, neumáticos).
- Materia prima para la elaboración de productos de conversión: producción de compost mediante la degradación biológica de los residuos de jardín y fracción orgánica de los RSU.
- Fuente de combustible: Obtención de energía de los RSU mediante incineración de la fracción orgánica y la recuperación del calor producido o mediante la conversión de los residuos en algún tipo de combustible (combustibles derivados de residuos).
- Restauración de terreno: mediante la disposición de residuos de construcción y demolición, limpios y procesados.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos (combustión) se utilizan para reducir el volumen y el peso de los residuos que requieren disposición y para recuperar productos de energía. Son **procesos de oxidación química de la fracción orgánica** presente en los RSU.

La incineración reduce del 85 a 95% el volumen de la fracción combustible de los residuos y además en el proceso se puede recuperar energía en forma de calor. Estos sistemas **requieren controles ambientales exhaustivos de las emisiones gaseosas** generadas durante el proceso de quemado.

Los principales elementos presentes en los residuos sólidos son: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. Bajo condiciones ideales, los productos gaseosos derivados de la incineración de RSU (con cantidades estequiométricas⁴ de aire) son agua, dióxido de azufre y dióxido de carbono.

Los sistemas de procesamiento térmico pueden clasificarse en base a sus requerimientos de oxígeno:

- Si la cantidad de Oxígeno es exacta estamos en presencia de un proceso de **combustión estequiométrica**.
- Si la combustión se desarrolla con exceso de Oxígeno (sobre las necesidades estequiométricas) se denominan **combustión con exceso de aire**.
- Cuando la combustión se realiza con defecto de aire, es decir en condiciones sub- estequiométricas, el proceso se denomina **gasificación**. Este proceso de combustión parcial de los residuos sólidos, genera un gas combustible que contiene Monóxido de Carbono, Hidrogeno y gas de mediano poder calorífico.
- La **pirólisis** es el proceso térmico de los residuos en ausencia completa de oxígeno.

Como se dijo, la incineración de los RSU es un proceso de combustión controlada que transforma la fracción combustible de los residuos en productos gaseosos y un residuo sólido inerte (escoria) de menor peso y volumen que el material original.

El combustible es el propio residuo y el comburente, el oxígeno del aire. Se debe considerar que este sistema de eliminación no es completo, ya que se genera un producto residual, que son las cenizas y un efluente gaseoso.

⁴ Cantidad de oxígeno necesario para que se realice la combustión.

A continuación se presenta las ventajas y desventajas del proceso de incineración:

Ventajas	Desventajas
• Produce una reducción de peso del 70 al 75% respecto de la cantidad original • Produce una reducción de volumen del 85 al 95%. • Presenta grandes posibilidades de recuperación de energía mediante la utilización de los gases calientes.	• En caso de residuos con alto contenido de humedad se necesita un secado previo con el consecuente consumo de energía. • Se necesita mayor de consumo de combustible fósiles para el quemado de los residuos con bajo poder calorífico. • Altos costos de inversión • Altos costos de operación del sistema de incineración.

Las instalaciones de incineración cuentan con tres subsistemas:

- **Pre-tratamiento:** Allí se realiza la separación de materiales inertes. Luego se realiza un proceso de secado para la eliminación de la humedad. Una vez acondicionados los residuos son alimentados hacia la cámara de combustión a través de métodos mecánicos o a gravedad.
- Una segunda instalación se refiere al área de combustión propiamente dicha, donde se encuentran los quemadores, parrillas y sistema de control.
- Finalmente se cuenta con un área de retención de las cenizas pesadas, mediante un cenicero ubicado en la parte inferior y un sistema de tratamiento de los gases y material particulado, para alcanzar los estándares de emisiones gaseosas.

Los sistemas de incineración más utilizados se alimentan con:

- **Incineradores de combustión en masa:** Opera con RSU en bruto o en masa
- **Incineradores alimentadas por CDR:** Opera con RSU procesados, conocidos como combustibles derivados de residuos (CDR)

CONTROL AMBIENTAL DE LOS INCINERADORES

Los sistemas de combustión producen diversos impactos sobre el ambiente, incluyendo emisiones gaseosas y de partículas, rechazos y efluentes líquidos.

a) Emisiones atmosféricas: Óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, material particulado, metales volátiles, gases ácidos, dioxinas y furanos. Los sistemas de control de la contaminación atmosférica mayormente utilizados son: Precipitadores electrostáticos, filtro de manga, lavadores de gases (en seco y húmedo) y ciclones.

b) Rechazos sólidos: cenizas de fondo (porción no combustible de los residuos sólidos: metales y vidrios), cenizas volantes (partículas que son arrastradas por los gases productos de la combustión y separadas mediante los sistemas de depuración de los gases utilizados).

c) Efluentes Líquidos: 1) agua de limpieza y refrigeración de los sistemas para separación de cenizas húmedas, 2) efluente de lavadores de gases en húmedo, 3) aguas residuales del lavado y mantenimiento general de la planta y 4) purgas de la torre de enfriamiento.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Los tratamientos biológicos son procesos de **degradación biológica de la fracción orgánica presente en los RSU**. Se utilizan para reducir el volumen y el peso de los residuos que requieren disposición y para recuperar productos de conversión.

La fracción orgánica de los RSU (con excepción de los plásticos, goma y cuero) se puede considerar compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina, etc. Estos componentes orgánicos, tratados mediante un proceso de descomposición aeróbica microbiana, producen un material denominado **humus** (conocido comúnmente como **compost**).

Los objetivos de estos tratamientos son:

- Transformar materiales orgánicos biodegradables en un material biológicamente estable y reducir el volumen original de los residuos.
- Destruir organismos patógenos, huevos de insectos y otros tipos de organismos no deseables que puedan estar presentes en los RSU.
- Retener al máximo el contenido nutricional (nitrógeno, potasio y fósforo).
- Elaborar un producto que pueda ser utilizado como soporte para el crecimiento de plantas y como mejorador de suelos.

Las características del Compost son:

- Color: marrón hasta marrón oscuro
- Baja relación carbono-nitrógeno
- Naturaleza cambiante debido a la acción de microorganismos
- Alta capacidad para el intercambio de cationes y para la absorción de agua

Su composición varía según la naturaleza del material original y las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la operación de composting.

Los principales o mejores materiales (fuentes) para producir el compost son: los residuos de jardín, la fracción orgánica de los RSU, RSU no seleccionados parcialmente procesados, Co-composting de la fracción orgánica de los RSU con barros de aguas residuales domésticas o cloacales.

En la siguiente Tabla, se presentan los materiales a ser compostados y su contenido de Carbono y Nitrógeno de modo tal de poder desarrollar una adecuada mezcla para alcanzar la relación C/N establecida (25/1 a 50/1) según experiencias realizadas.

Materiales compostables y su contenido de Carbono y Nitrógeno		
Verdes (Alto contenido de Nitrógeno)	Marrón (Alto contenido de Carbono)	No utilizar
Restos de corte de pasto	Hojas	Huesos
Restos de poda	Corteza	Heces de gatos y perros
Frutas y vegetales	Paja	Aceites
Plantas domésticas	Astillas de madera	Grasas
Abono de caballo, cerdo, pollo, conejo y vaca	Aserrín	Grasa animal
Desechos alimenticios: cáscaras de huevo, pan viejo, restos de café (incluido el filtro), saquitos de té, cáscara de frutas y vegetales.	Papel de diario triturado	Carbón de madera
	Mazorca de maíz	Desperdicios de carne y pescado
		Productos lácteos
		Semillas de malezas
		Plantas en descomposición
Fuente: www.ciwm.ca.gov Integrated Waste Management Board - California - USA		

La disposición segura a largo plazo de los residuos sólidos es un componente importante de la gestión integral. La planificación, el diseño y la operación de rellenos implica la aplicación de principios científicos, ingenieriles y económicos. El método más común es el *vertido en tierra*.

El relleno sanitario es actualmente el método más económico y ambientalmente más aceptable para la evacuación o disposición final de los residuos sólidos. Incluso con la implantación de programas de reducción, de reciclaje o de tecnologías de transformación, es necesaria la disposición de los rechazos en los rellenos.

Se denomina Relleno a la instalación física utilizada para la evacuación en los suelos, de los rechazos procedentes de los residuos sólidos.

Se define *Relleno Sanitario* a la instalación de ingeniería para la disposición de RSU, diseñada y operada para minimizar los impactos sobre el medio y la salud pública.

La American Society of Civil Engineers (ASCE) define: “*Relleno Sanitario es la técnica para la disposición de los residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud y la seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor superficie posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable. Los residuos así dispuestos se cubren con tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada*”.

El *vertido* o disposición de los residuos sólidos es el proceso mediante el cual se depositan los residuos sólidos en un relleno. Este incluye el control del flujo de entrada de residuos al relleno, la colocación y compactación de los residuos y la implantación de instalaciones para control ambiental.

Reacciones que ocurren en el relleno sanitario

Los residuos sólidos dispuestos en relleno sanitario están sometidos a un número de cambios biológicos, físicos y químicos simultáneos. Los más importantes son:

- 1) la descomposición biológica de la materia orgánica putrescible, ya sea aerobia o anaerobia, con la evolución de gases y líquidos,
- 2) la oxidación química de materiales,
- 3) el escape de gases del relleno y la difusión lateral de gases a través del relleno,
- 4) el movimiento de líquidos producido por la diferencia de presiones,
- 5) la disolución y lixiviado de materiales orgánicos e inorgánicos por el agua y el lixiviado que se mueve a través del relleno,
- 6) el movimiento del material disuelto por gradientes de concentración y ósmosis
- 7) el asentamiento desigual producido por la consolidación del material en los vacíos.



BIOMASA

Introducción

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, la biomasa y la energía solar han sido las únicas fuentes de energía térmica utilizadas por el hombre.

Desde el descubrimiento del fuego la biomasa ha acompañado al hombre suministrándole energía para calentarse, para alimentarse y para iluminar sus pasos. No podemos olvidar que la primera luz artificial generada por el hombre fue el resplandor de sus fogatas.

Esta dependencia de la biomasa ha durado miles de años, en concreto hasta la segunda mitad del siglo XIX –con la revolución industrial- cuando fue ampliamente sustituida por el carbón y más tarde por otras fuentes energéticas como el petróleo.

Actualmente, la biomasa continúa teniendo un papel muy importante como fuente de energía renovable y no contaminante, especialmente en un mundo tan preocupado por los graves problemas medioambientales.

Por un lado, el hombre utiliza los llamados residuos forestales o agrícolas, que son aquellos recursos que se generan directamente en el campo o en la montaña de manera dispersa, para aprovechar su energía. Por otro lado, ya en nuestro siglo, el hombre también ha aprendido a recuperar la energía de las basuras domésticas, (residuos sólidos urbanos), los cuales constituyen un caso singular de la biomasa.

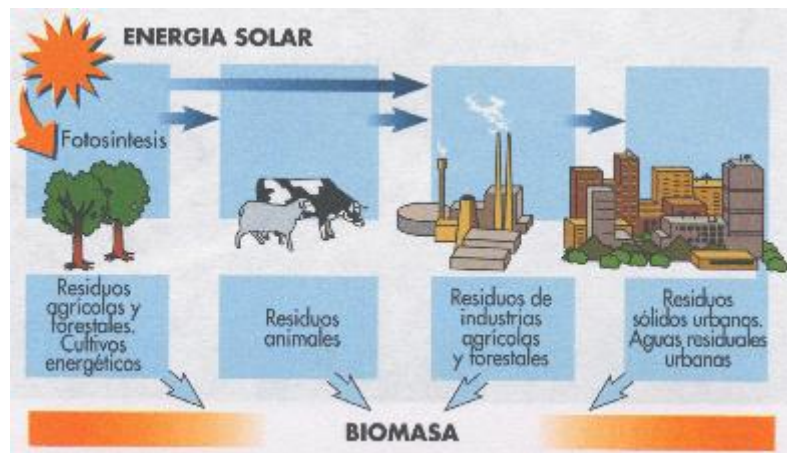
Los desechos tienen un alto contenido en materia orgánica, y otros componentes como el papel, con un poder calorífico similar al de los carbones de baja calidad. Actualmente, con tecnologías muy diversas, se extrae la energía que nosotros hemos depositado en el contenedor de la calle y en la bolsa de basura. Pero no hay que olvidar que la mejor estrategia de eliminación de residuos urbanos consiste en combinar procesos de recogida selectiva con reciclaje y compostaje, y a la vez limitar las opciones de verter e incinerar, por los problemas ambientales que generan.

Definición

La biomasa es toda la materia orgánica que se encuentra en la tierra. Se denomina **energía biomasa** a toda la materia orgánica que se encuentra en la tierra susceptible de aprovechamiento energético.

La energía biomasa abarca a una variada serie de fuentes energéticas que van desde la simple combustión de la leña para calefacción hasta las plantas térmicas para producir electricidad usando como combustible residuos forestales, agrícolas, ganaderos o incluso lo que se denomina cultivos energéticos, pasando por el biogás de los vertederos o lodos de depuradoras o los biocombustibles.

Presenta una enorme versatilidad, permitiendo obtener mediante diferentes procedimientos tanto combustibles sólidos como líquidos o gaseosos. De origen vegetal o animal, incluye los materiales que proceden de la transformación natural o artificial.



El origen de la energía biomasa proviene de la luz solar, la cual gracias al proceso de fotosíntesis, es aprovechada por las plantas verdes mediante reacciones químicas en las células, las que toman CO₂ (dióxido de carbono) del aire y lo transforman en sustancias orgánicas.

En estos procesos de conversión la energía solar se transforma en energía química que se acumula en diferentes compuestos orgánicos (polisacáridos, grasas) y que luego es incorporada y transformada por el reino animal, incluyendo al ser humano, el cual invierte la transformación para obtener bienes de consumo.

La conversión de energía solar en energía química, que se realiza en los vegetales durante la fotosíntesis, es uno de los fenómenos más fascinantes de la naturaleza. En la planta iluminada por el sol, la fugaz radiación solar se transforma en productos estables, absolutamente esenciales para la vida en nuestro planeta. Y, desde el principio de la humanidad, fue la simbiosis con el mundo vegetal lo que garantizó el alimento, la energía y materias primas de amplio uso, permitiendo, a lo largo de milenios, que aumenten los niveles de bienestar y productividad económica.

Tras la breve interrupción en los últimos siglos, durante los cuales la energía solar fosilizada pasó a ser ambiciosamente explotada y utilizada, en forma de carbón, petróleo y gas natural, la energía fotosintética vuelve, lentamente, a ser la protagonista principal.

Capaz de mitigar preocupantes problemas ambientales, la energía fotosintética le brinda una nueva dinámica al mundo agroindustrial y ofrece una alternativa efectiva a la necesaria evolución de la sociedad industrial moderna hacia un contexto energético más sostenible y racional.

Sin pretender ser la solución exclusiva, la captación y el almacenamiento de energía solar en los vegetales pueden desempeñar un rol destacado en el futuro energético de las naciones. De hecho, como ya decía Melvin Calvin – Premio Nóbel de Química en 1961 por sus descubrimientos sobre la fotosíntesis-, las hojas son verdaderas “fábricas silenciosas”.

Procesos de conversión de biomasa en energía

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad.

Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda. En general se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre los 3000 a 3500 kcal/kg (kilocalorías por kilogramo) para los residuos ligno-celulósicos, entre los 2000 y 2500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente los 10.000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos. Estas características, juntamente con el bajo contenido de azufre de la biomasa, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente.

Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de biomasa y son considerados, por tanto, una energía renovable. Se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiésel) y gaseosa (biogás, hidrógeno).

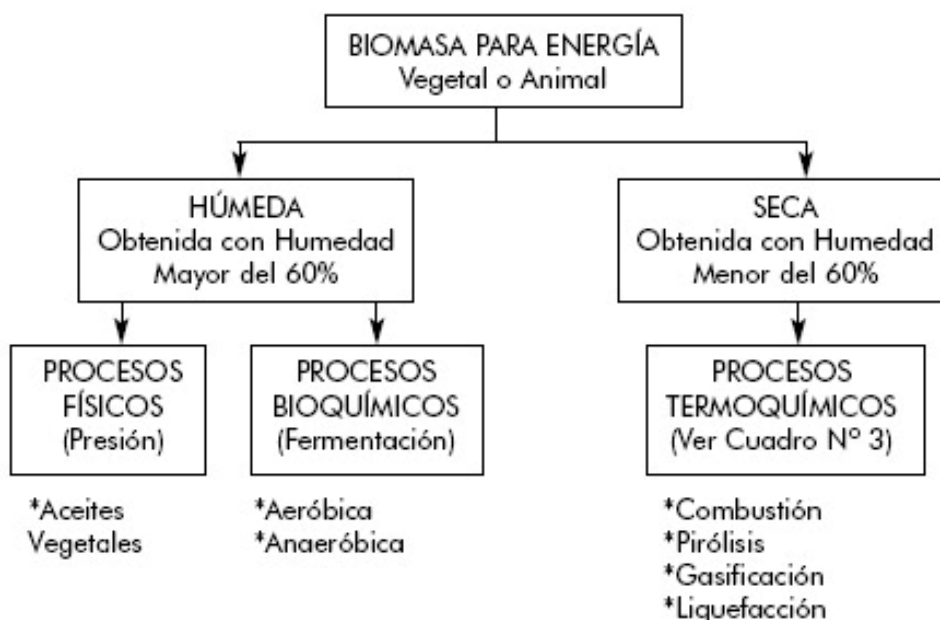
Dentro de los biocombustibles, **los biocarburantes** abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna. Son, en general, de naturaleza líquida. Los biocarburantes en

uso proceden de materias primas vegetales, a través de transformaciones biológicas y físico-químicas. Actualmente se encuentran desarrollados principalmente dos tipos: el **biodiésel**, obtenido a partir de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales con un alcohol ligero; y el **bioetanol**, obtenido fundamentalmente de semillas ricas en azúcares mediante fermentación.

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa **no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de CO₂ a la atmósfera es neutro**. En efecto, el CO₂ generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años.

Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la biomasa en dos grandes grupos:

- Biomasa húmeda
- Biomasa seca



BIOMASA SECA

Es aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad **menor al 60%**, como la leña, paja, etc. Este tipo de biomasa se presta mejor a ser utilizada energéticamente mediante procesos **TERMOQUÍMICOS O FÍSICOQUÍMICOS**, que producen directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

BIOMASA HÚMEDA

La biomasa se denomina así cuando el porcentaje de humedad **supera el 60%**, como por ejemplo en los restos vegetales, residuos animales, vegetación acuática, etc. Para su tratamiento son especialmente convenientes los **PROCESOS QUÍMICOS**, o en algunos casos particulares, simples **PROCESOS FÍSICOS**, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos. Hay que aclarar que esta

clasificación es totalmente arbitraria, pero ayuda a visualizar mejor la caracterización de los procesos de conversión.

También se suele clasificar a la biomasa, **de acuerdo a su origen**, de la siguiente forma:

- **Biomasa natural:** producida en la naturaleza sin la intervención humana.
- **Biomasa residual:** generada por cualquier actividad humana, principalmente en procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tales como basuras y aguas residuales.
- **Biomasa producida:** cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible.

En el amplio contexto de la bioenergía, la producción de biocombustibles líquidos sirve para atender particularmente las necesidades de transporte automotor. Para estos fines, además de los biocombustibles, aún no existen, en la actualidad, otras alternativas renovables con madurez tecnológica y viabilidad económica suficientes. Los biocombustibles líquidos se pueden utilizar de manera bastante eficiente en motores de combustión interna que equipan los más diversos vehículos automotores y que se clasifican básicamente en dos tipos, dependiendo de la manera como inicia la combustión.

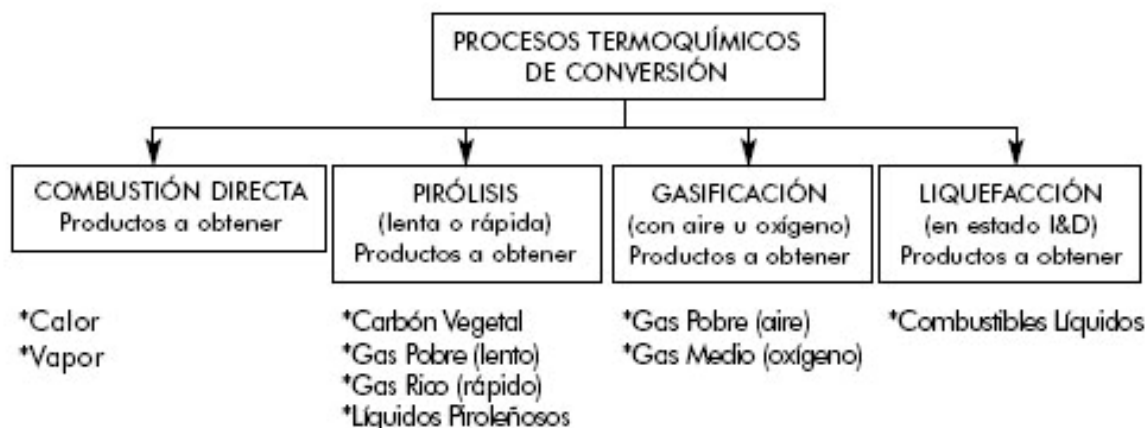
Motores del ciclo Otto, con ignición a chispa, para los cuales el biocombustible más recomendado es el bioetanol; y motores del ciclo Diesel, en los cuales la ignición se logra por compresión y que pueden utilizar con buen desempeño el biodiésel. En ambas situaciones, los biocombustibles pueden ser usados puros o mezclados con combustibles convencionales derivados de petróleo.

Es interesante observar que, en los primeros años de la industria automotriz, durante la segunda mitad del siglo XIX, los biocombustibles representaban la principal fuente de energía para los motores de combustión interna, con el uso del bioetanol por Henry Ford y del aceite de maní, por Rudolf Diesel.

Estos dos productos se reemplazaron, respectivamente, por la gasolina (naftas) y el diésel a medida que los combustibles derivados de petróleo pasaron a ser abundantes y baratos, a partir del comienzo del siglo pasado.

Procesos Termoquímicos para la conversión de la biomasa en energía

Comprenden básicamente la COMBUSTIÓN, GASIFICACIÓN y PIRÓLISIS, encontrándose aún en etapa de desarrollo la LIQUEFACCIÓN DIRECTA.



Combustión: Es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente. Coloquialmente, diremos que quemamos la biomasa. Es un tratamiento a una temperatura entre 150°C y 800°C, en el que la cantidad de oxígeno no está controlada. Los residuos de biomasa se oxidan (reaccionan químicamente con el oxígeno) completamente y se obtienen gases calientes, que es la parte que se aprovecha como energía térmica, ya sea para usos domésticos (cocción, calefacción) o industriales (calor de proceso, vapor mediante una caldera, energía mecánica utilizando el vapor de una máquina).

Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la biomasa abarcan un amplio espectro que va desde el sencillo fogón a fuego abierto (aún utilizado en vastas zonas para la cocción de alimentos) hasta calderas de alto rendimiento utilizadas en la industria.

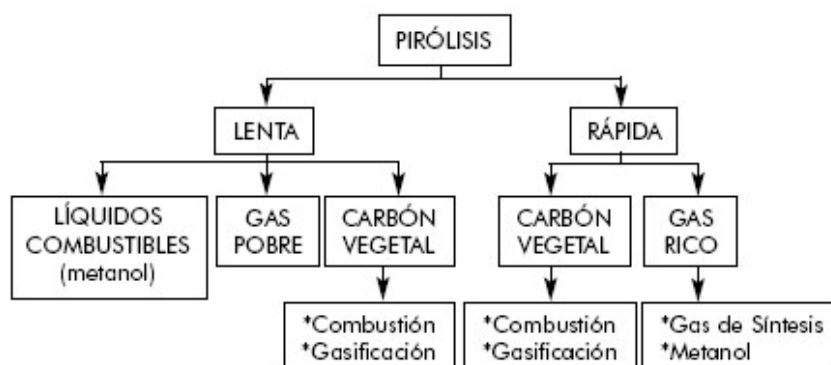
Gasificación: Consiste en la quema de biomasa (fundamentalmente leña) en presencia de oxígeno en forma controlada, de manera de producir un gas combustible denominado “gas pobre” (llamado así por su bajo contenido calórico en relación al gas natural, del orden de la cuarta parte).

La gasificación se realiza en un recipiente cerrado, conocido por gasógeno, en el cual se introduce el combustible y una cantidad de aire menor a la que se requeriría para su combustión completa. El gas pobre obtenido puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado y acondicionado para su uso en un motor de combustión interna que produzca, a su vez, energía mecánica.

Pirólisis: Tratamiento a una temperatura entre 500°C y 600°C, con ausencia de oxígeno. Se basa en la descomposición de la materia orgánica por calor. Este proceso es similar a la gasificación y se obtiene como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (efluentes piroleñosos) y gaseosos (gas pobre). Generalmente, el producto principal de la pirólisis es el carbón vegetal, considerándose a los líquidos y gases como subproductos del proceso.

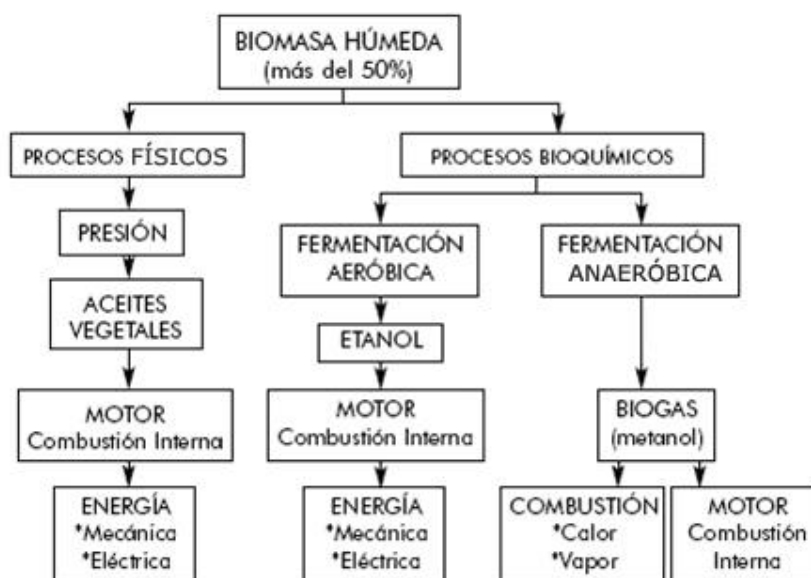
La pirólisis con aprovechamiento pleno de subproductos tuvo su gran auge antes de la difusión masiva del petróleo, ya que constituía la única fuente de ciertas sustancias (ácido acético, metanol, etc.) que luego se produjeron por la vía petroquímica. Hoy en día, sólo la producción de carbón vegetal reviste importancia cuantitativa. El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor o, lo que es lo mismo, un peso menor para igual cantidad de energía, lo cual facilita su transporte.

No obstante, debe hacerse notar que la carbonización representa una pérdida muy importante de la energía presente en la materia prima, ya que en el proceso consume gran cantidad de ella.



Procesos Bioquímicos

Los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos (bacterias), y pueden dividirse en **dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).**



Procesos anaeróbicos

La digestión anaerobia es un proceso que se utiliza para residuos biodegradables (residuos sólidos urbanos, efluentes cloacales, industriales, etc.) a fin de reducir la carga contaminante que estos posean.

A grandes rasgos el proceso se desarrolla en un recipiente cerrado llamado “digestor” donde determinadas bacterias degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica.

La biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción del biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas. Las tecnologías disponibles para su producción son muy variadas pero todas ellas tienen como

común denominador la simplicidad del diseño y el bajo costo de los materiales necesarios para su construcción.

El biogás, constituido básicamente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), puede ser empleado de la misma forma que el gas natural. También puede comprimirse para su uso en vehículos de transporte, debiéndose eliminar primero su contenido de CO_2 .

Más del 80 % de las plantas de biogas difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el tipo Chino e Hindú.

Los comienzos del biogás y los procesos anaeróbicos

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas; el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos; y el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas *bacterias metanogénicas*.

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados *tanques Imhoff* para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

El **relleno sanitario**, práctica muy difundida en el mundo para disponer de los residuos sólidos en las grandes ciudades, ha evolucionado incluyendo hoy en día modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado en los mismos. Este fenómeno en décadas pasadas generaba graves problemas, entre los cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los vecinos y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

Materias primas para la producción de biogás

Como se ha visto, **la digestión anaeróbica es un proceso biológico fermentativo, en el cual la materia orgánica es descompuesta por la acción de una serie de microorganismos bacterianos, que la transforman en biogás.**

En la digestión anaeróbica se emplean diferentes sustratos (materias primas): fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales, residuos orgánicos industriales y residuos agrícolas y ganaderos. Todos estos sustratos son residuos de diferente origen, por lo que su utilización para la obtención de biogás representa una ventaja añadida desde el punto de vista medioambiental.

Cuando la materia orgánica contenida en los RSU (residuos sólidos urbanos) se utiliza como sustrato de la fermentación anaeróbica, el proceso se denomina **biometanización o biogasificación**. En este proceso, la materia orgánica se transforma en biogás y en una fracción sólida más pobre que el compost, que también puede utilizarse como mejorador de suelos.

Por otra parte la FORSU también puede ser aprovechada para la producción de biogás en los rellenos sanitarios. Allí la FORSU experimenta un proceso de fermentación inicialmente aeróbico hasta que se agota el oxígeno y las condiciones pasan a ser anaeróbicas, produciéndose el biogás.

El gas generado, al difundirse a través de la masa de residuo, arrastra trazas de compuestos orgánicos y otros contaminantes gaseosos hasta la superficie, produciendo emisiones que influyen en el efecto invernadero. No obstante, la captación de este biogás para su aprovechamiento energético o su uso como recurso en procesos de tecnologías avanzadas, permite eliminar los contaminantes atmosféricos peligrosos.

Procesos aeróbicos

La fermentación aeróbica se utiliza, principalmente, para las plantas de cultivos azucareros o de cereales, para obtener alcoholes denominados **bioalcoholes**. Estos alcoholes se pueden utilizar como combustibles para motores de explosión, ya sea directamente, o mezclados con gasolina.

La biomasa con alto contenido de azúcares o almidones, da origen a la formación de alcohol (etanol), que, además de los usos ampliamente conocidos en medicina y licorería, es un combustible líquido de características similares a los que se obtienen por medio de la refinación del petróleo.

Las materias primas más comunes utilizadas para la producción de alcohol son la caña de azúcar, mandioca, sorgo dulce y maíz. El proceso incluye una etapa de trituración y molienda para obtener una pasta homogénea, una etapa de fermentación y una etapa de destilación y rectificación.

El bioetanol

El etanol, o alcohol etílico, es una sustancia con fórmula molecular C_2H_6O , que puede ser utilizada como combustible en motores de combustión interna con ignición a chispa (ciclo Otto) de dos maneras básicamente: en mezclas de gasolina (naftas) y etanol anhidro (sin agua); o como etanol puro, generalmente hidratado.

El bioetanol, es decir el etanol elaborado a partir de biomasa, se produce principalmente mediante la fermentación de granos ricos en azúcares o almidón, por ejemplo los cereales, la remolacha azucarera y el sorgo (fermentación aeróbica).

Mezclado con la gasolina convencional, normalmente como aditivo al 5%, puede utilizarse en los motores modernos de explosión que no han sufrido modificación. Los motores modificados, tales como los utilizados en los llamados vehículos de uso

flexible de carburante, pueden funcionar con mezclas de etanol al 85%, así como con bioetanol puro y gasolina o naftas convencionales.

Otra modalidad de utilización es la síntesis de un aditivo incorporado a las gasolinas para aumentar el índice de octano, el ETBE, que sustituye al MTBE, de origen fósil. Para fabricar ETBE, el etanol se mezcla con un subproducto obtenido en las refinerías llamado isobutileno. El uso de este aditivo tiene como ventajas una menor volatilidad y solubilidad, además de una mayor eficiencia térmica y el hecho de resultar menos corrosivo. Como desventajas, la necesidad de disponer de isobutileno y la exigencia de un proceso industrial añadido.

Se está estudiando la posibilidad de cultivar árboles, con alto contenido de celulosa, con el único fin de producir etanol, como pueden ser el chopo o el sauce.

Otra alternativa a las cosechas dedicadas a fines energéticos, es el uso de residuos de procesos agrícolas, forestales o industriales, con alto contenido en biomasa. Estos residuos pueden ir desde la paja de cereal a las “limpias” forestales, pasando por los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) o las cáscaras de cereal o de arroz.

El primer país que asumió este reto fue Brasil que a partir de ese año comenzó a mezclar etanol (elaborado a partir de la caña de azúcar) y gasolina en la proporción de 22:78. En 1979 Brasil produjo los primeros automóviles que podían funcionar con alcohol hidratado (95% de etanol y 5% de agua), más tarde, en 1980 la mayor parte de los coches fabricados estaban diseñados para funcionar exclusivamente con etanol.

Hasta los años 80 la principal motivación para la producción de etanol fue su uso como combustible alternativo para la automoción, y así disminuir la dependencia de las importaciones de petróleo y minimizar el impacto que las fluctuaciones del mercado ocasionan en los precios. A partir de mediados de los 80, a esta motivación se ha unido las políticas de mejoras medioambientales, principalmente en lo relativo a emisiones gaseosas.

A partir del 2003 se lanzaron comercialmente en Brasil vehículos con motores flexibles (flex-fuel), capaces de utilizar, sin cualquier interferencia del conductor, gasolina (con 20% a 25% de etanol), etanol hidratado puro o mezclas de esos dos combustibles en cualquier proporción, según exigencias de eficiencia y maniobrabilidad y atendiendo a los límites legales de emisiones de gases de escape [Joseph Jr. (2007)].

Los vehículos equipados con estos motores ya representan la mayoría de los vehículos nuevos vendidos en Brasil a partir de 2005 y, desde entonces, están perfeccionándose en términos de desempeño y funcionalidad de los sistemas de arranque en frío. Actualmente, existen más de 60 modelos diferentes, fabricados por diez montadoras de origen estadounidense, europeo y japonés, instaladas en el país. Esta concepción de vehículo flexible permite que el usuario elija el tipo de combustible a utilizar, según su conveniencia, desde 100% de etanol hidratado hasta una gasolina con 20% a 25% de etanol.

Actualmente Brasil es el segundo mayor productor de etanol del mundo y el mayor exportador mundial. Es considerado líder internacional en materia de biocombustibles y la primera economía mundial en alcanzar un uso sostenible de los biocombustibles.

Hay dos factores fundamentales para el éxito del bioetanol en Brasil, que distinguen la experiencia brasileña de la registrada en otros países, y son: la amplia cobertura geográfica y el elevado número de gasolineras que comercializan el producto.

En Estados Unidos, en Canadá o en Suecia también se comercializan vehículos con motores flexibles, pero bajo otro concepto, operando en franjas de concentraciones

de etanol que van desde la gasolina pura, sin etanol, hasta una mezcla con el 85% de etanol anhidro y el 15% de gasolina, producto que está disponible en cantidad creciente, pero todavía limitada, de gasolineras, con la sigla E85.

Estados Unidos es el país líder en la producción de maíz a nivel mundial y produce casi la mitad del volumen total. El maíz es la principal materia prima en la producción de bioetanol en ese país: más del 98% se produce a partir de maíz. La producción se concentra en una región denominada Cinturón del Maíz, donde se destacan los estados de Iowa e Illinois.

La **producción de etanol en Argentina** se más que duplicó en el primer semestre del 2013 a 137.000 toneladas, desde 58.000 toneladas en el mismo período del año previo, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC).

Argentina importa combustible y exporta maíz, además sufre la necesidad de diversificar la actual matriz energética. Esta situación lleva a considerar la importancia que podría tener la producción de bioetanol en base a maíz. Sin embargo, la producción de bioetanol en base maíz es muy joven en la Argentina.

Otros Recursos

Como ya se especificó anteriormente, toda materia orgánica es susceptible de ser transformada en energía útil, por lo tanto queda librado a la imaginación el encontrar nuevos recursos y formas de aprovechamientos.

A título ilustrativo, mencionaremos la vegetación acuática, cuya utilización y cultivo, ha sido investigado para la producción de energía. Tanto en el ámbito fluvial y lacustre (camalotes) como en el marítimo (fitoplancton), se han realizado experiencias en este sentido. Luego de la recolección se procede a la fermentación anaeróbica de estos vegetales para la producción de biogás.

Existen también estudios para el aprovechamiento energético a partir de ciertos tipos de biomasa tales como algas verdes, especies de látex ricas en caucho o en resinas, etc.

Biodiesel

Hace un siglo, Rudolf Diesel probó su motor con aceites vegetales como combustible, y en épocas de crisis energéticas se utilizaron aceites vegetales solos o mezclados con gasoil en distintas proporciones.

El biodiesel es un biocombustible líquido, que se obtiene químicamente a partir de aceites vegetales o grasas animales y un alcohol, y se puede utilizar en motores Diesel, solo o mezclado con gasoil.

Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo o gasoil de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasoil para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

Cuando se lo utiliza en mezclas con gasoil, la nomenclatura es: Bx; donde "x" es el porcentaje de Biodiesel presente en la mezcla. Por ejemplo, B20 significa que el 20% es Biodiesel, mientras que el 80% restante es gasoil. En consecuencia, B100 se referirá a Biodiesel puro.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define al Biodiesel como éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables para ser utilizados en motores Diesel.

Las materias primas para la obtención de Biodiesel son aceites vegetales o grasas animales y alcoholes de cadena corta. Los aceites más ampliamente utilizados son aceite de colza (fundamentalmente en países de la Unión Europea), soja y girasol, aunque también se emplean otros: aceites de maní, palma, lino, nabo, aceites comestibles usados o grasas animales.

Debido a que el principal escollo en la producción y comercialización de Biodiesel es su alto costo (que proviene fundamentalmente del precio del aceite), en países asiáticos se estudió la posibilidad de utilizar aceites vegetales no comestibles debido a su toxicidad, que abundan en algunos países de ese continente durante todo el año y tienen mucho menor costo que los aceites comestibles. La medición de propiedades en el Biodiesel obtenido arrojó resultados satisfactorios. La utilización de este tipo de aceites, por ejemplo en la India, permitiría no sólo obtener Biodiesel a un costo menor sino también ahorrar grandes cantidades de aceites vegetales para usos diferentes. En Malasia se utiliza fundamentalmente la *jatropha* como materia prima para la producción de Biodiesel.

Además del menor costo, otra ventaja innegable de usar aceites no comestibles es el hecho de que no se está disponiendo de un recurso alimenticio para la fabricación de un combustible. Por esta y otras razones, en nuestro país y otros países sudamericanos desde hace años se están realizando pruebas con aceites no comestibles como ricino, tung, algodón, cártamo, *jatropha*, entre otros.

El único combustible alternativo que puede utilizarse directamente en cualquier motor diesel, sin requerir ningún tipo de modificación es el Biodiesel. Hoy en día, dichos motores requieren un combustible que al ser sometido a distintas condiciones en las que opera, permanezca estable y por otra parte sea limpio al quemarlo. Al poseer propiedades similares al combustible diesel de petróleo, ambos se pueden mezclar en cualquier proporción, sin generar problema alguno.

A continuación se detallan las principales materias primas para la elaboración de biodiésel [Vicente 1998, 2001]:

Aceites vegetales convencionales	Aceites vegetales alternativos	Aceites de semillas modificadas genéticamente	Grasas animales	Aceites de fritura usados	Aceites de otras fuentes
• Aceite de girasol • Aceite de colza • Aceite de soja • Aceite de coco • Aceite de palma	• Aceite de Brassica carinata • Aceite de Cynara curdunculus • Aceite de Camelina sativa • Aceite de Crambe abyssinica • Aceite de Pogianus • Aceite de <i>Jatropha</i>	• Aceite de girasol de alto oleico	• Sebo de vaca • Sebo de búfalo		• Aceites de producciones microbianas • Aceites de microalgas

Aceites de fritura usados

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiésel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costos de tratamiento como residuo. Los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible. Como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso de un residuo

contaminante difícil de degradar. El inconveniente radica en las dificultades logísticas: recolección, control y trazabilidad (por su carácter de residuo).

Alcoholes

Los alcoholes que se pueden utilizar para la producción de Biodiesel son los de cadena corta. Entre ellos, el metanol, etanol, propanol, butanol y alcohol amílico. El metanol (CH_3OH) y el etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) son los más usados debido fundamentalmente al bajo costo y a sus propiedades. El metanol se elige sobre el etanol, a pesar de su toxicidad, debido a ventajas técnicas durante el proceso.

Reacciones en la producción de biodiésel – La Transesterificación

El principal motivo por el cual los aceites vegetales no se pueden utilizar directamente en los motores diésel, es por su viscosidad. Para la reducción de esta viscosidad, el proceso químico recomendado es el de la transesterificación.

Aunque la esterificación es un proceso posible, el método utilizado comercialmente para la obtención de biodiésel es la transesterificación (también llamada alcoholísis).

La transesterificación se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina (que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.). Este proceso químico industrial utilizado en la producción de biodiesel, consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

El catalizador es una sustancia que se utiliza para acelerar la velocidad de la reacción química, pero no se consume durante el proceso.

Insumos		Productos
(87%) Aceite + (12%) Metanol + (1%) Catalizador		(86%) Biodiésel + (9%) Glicerina + Etanol (4%) + (1%) Fertilizante

Según el tipo de catalizador empleado se habla de **transesterificación básica, ácida o enzimática**.



La energía biomasa en el mundo

La **Agencia Internacional de la Energía (AIE)** calcula que el **10% de la energía primaria mundial procede de los recursos asociados a la biomasa**, incluidos los relacionados con biocombustibles líquidos y biogás.

Gran parte de ese porcentaje corresponde a los países pobres y en desarrollo, donde resulta ser la materia prima más utilizada para la producción de energía, justo en aquellos países donde se prevé un mayor aumento de la demanda energética. Según datos del **Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)**, “algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles”.

En África, Asia y Latinoamérica representa la tercera parte del consumo energético y para 2.000 millones de personas es la principal fuente de energía en el ámbito doméstico. Pero, en muchas ocasiones, esta utilización masiva no se realiza mediante un uso racional y sostenible de los recursos, sino como una búsqueda desesperada de energía que provoca la deforestación de grandes áreas, dejando indefenso al suelo frente a la erosión.

La propia FAO reconoce que “la mejora del uso eficiente de los recursos de la energía de la biomasa – incluidos los residuos agrícolas y las plantaciones de materiales energéticos – ofrece oportunidades de empleo, beneficios ambientales y una mejor infraestructura rural”. Incluso va más allá al considerar que el uso eficiente de estas fuentes de energía ayudarían a alcanzar dos de los objetivos de desarrollo del milenio: “erradicar la pobreza y el hambre y garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”.

Volviendo al principio, la biomasa podría ser el vector energético que permitiera el desarrollo de los países pobres, evitando que el aumento del consumo energético asociado a este desarrollo pusiera en peligro el medio ambiente y la seguridad de abastecimiento energético de nuestra sociedad.

Las plantas energéticas a partir de biomasa más importantes del mundo

Finlandia, que es el país con mayor consumo de energía per cápita de Europa, con 1,490 toneladas de biomasa sólida, es el país que tiene el mayor número de plantas en el Top 10, con un total de siete centrales. La mayor planta es británica, y Polonia y Estados Unidos, con una planta cada una, completan la clasificación de las 10 plantas energéticas de biomasa más grandes del mundo, teniendo en cuenta su capacidad de generación. En este listado no se han tenido en consideración las plantas híbridas.

1. Ironbridge. 740 MW. Reino Unido

La planta de biomasa de Ironbridge, con una capacidad de 740 MW, está localizada en SevernGorge, Reino Unido, y es una planta de energía de biomasa pura. Las instalaciones, que hace años fueron utilizadas como una central eléctrica de carbón con una capacidad instalada de 1.000 MW, fue reconvertida junto a las dos unidades de la central para la generación de energía a partir de



biomasa en 2013. La planta emplea pellets de madera para generar energía de biomasa.

2. AlholmensKraft. 265 MW. Finlandia

La planta AlholmensKraft, de 265 MW, está ubicada en las instalaciones de la fábrica de papel UPM-Kymmene en Alholmen, Jakobstad, Finlandia. Entró en funcionamiento en enero de 2002, y suministra también 100 MW de calor a la papelera y 60 MW de calefacción urbana para los habitantes de Jakobstad.



3. Toppila. 210 MW. Finlandia

La central de biomasa de Toppila, en Oulu, Finlandia, es una de las mayores centrales en el mundo que utilizan turba como combustible, y cuenta con una capacidad instalada de 210 MW de energía eléctrica y 340 MW de potencia térmica.



4. Polaniec. 205 MW. Polonia

La planta de biomasa de Polaniec está situada en el condado de Staszów, al sudeste de Polonia, y es la cuarta planta de energía de biomasa más grande del mundo. La planta entró en operación comercial en noviembre de 2012 y hace uso principalmente de subproductos agrícolas y residuos de madera para su funcionamiento. La planta cuenta con la caldera de lecho fluidizado circulante para biomasa más grande y avanzada del mundo, desarrollada por los ingenieros de Foster Wheeler. Como resultado genera electricidad suficiente para abastecer las necesidades de 600.000 hogares, mientras que reduce a la vez en 1,2 millones de toneladas las emisiones de dióxido de carbono al año.



5. Kymijärvi II. 160 MW. Finlandia.

La planta de Kymijärvi II, de 160 MW de potencia, está localizada en la ciudad de Lahti, en Finlandia, a unos 100 kilómetros al norte de Helsinki. Se trata concretamente de unas instalaciones basadas en gasificación que utiliza combustibles sólidos recuperados (CSR), tales como plástico, papel, cartón y madera. La planta inició su operación



comercial en mayo de 2012, y genera 300 GWh de electricidad y 600 GWh de calefacción urbana. La electricidad se transmite a la red nacional.

6. Vaasa. 140 MW. Finlandia

Se trata de una planta de gasificación de biomasa que se puso en marcha en marzo de 2013, con una inversión total de 40 millones de euros. La planta produce biogás a partir de madera proveniente principalmente de residuos forestales, tratándose para producir calor y generar energía. Las instalaciones incluyen un gasificador CFB avanzado y la modificación de una caldera de carbón existente de la antigua planta.



7. Wisapower. 140 MW. Finlandia

La planta Wisapower es localizada en las instalaciones de la fábrica de papel de UPM en Pietarsaari, Ostrobothnia, Finlandia, y dispone de una capacidad de producción eléctrica de 140 MW desde su puesta en marcha en 2004. La central utiliza lejía negra (líquido resultante de la fabricación de pasta de celulosa) como combustible primario.



8. Florida Crystals. 140 MW. Estados Unidos

La planta de biomasa Florida Crystals en la ciudad de South Bay, en el estado de Florida (Estados Unidos) posee una capacidad instalada de 140 MW y utiliza la fibra de caña de azúcar (bagazo), así como madera urbana reciclada para la generación de electricidad, proveyendo de la energía necesaria para el procesamiento de la caña de azúcar, así como para el suministro de electricidad para alrededor de 60.000 hogares.



9. KaukaanVoima. 125 MW. Finlandia

La planta de biomasa KaukaanVoima localizada en Lappeenranta, Finlandia, cuenta con una capacidad eléctrica instalada de 125 MW. La central fue inaugurada en mayo de 2010 y utiliza madera y turba para la generación de energía y calefacción urbana.



10. Seinäjoki. 125 MW. Finlandia

La planta de biomasa Seinäjoki cuenta con una potencia instalada de 125 MW y está localizada en la ciudad de Seinäjoki al sur de Ostrobotnia, Finlandia. La central desde su entrada en funcionamiento en el año 1990, produce electricidad y calefacción urbana a partir de astillas de madera y turba como combustible principal. En octubre de 2013, los ingenieros de Metso fueron elegidos para implementar un nuevo sistema de automatización de la planta de energía de biomasa, conocido como DNA AutomationSystem.



3 – Rocas de aplicación

Introducción

Casi todas las cosas que tenemos y usamos se hacen con materias primas minerales. Pero ¿nos damos cuenta de eso? Si observamos nuestra propia casa, descubrimos que, excepto maderas y telas, prácticamente todo lo demás está hecho con productos obtenidos de minerales y rocas. En efecto, ladrillos, tejas, cerámicas, baldosas, hormigones, cemento, cal, arena, ripio, revoques, vidrios, plásticos, hierros, chapas, alambres, bronce, caños, cables, herrajes, pinturas, sanitarios, herramientas, vajilla y utensilios están hechos con materias primas de origen mineral.

Si salimos de la casa para ir a cualquier parte, usamos un vehículo que está construido en su totalidad con insumos tomados del reino mineral. También son de origen mineral el combustible que lo hace funcionar, el pavimento sobre el que se desplaza y hasta los semáforos que lo detienen en la esquina.

Sin materias primas minerales no existirían las grandes obras civiles, los ferrocarriles, los barcos, los aviones y otros sistemas de transporte. No habría máquinas industriales ni artefactos del hogar. No tendríamos cocinas, lavarropas, heladeras, televisores, máquinas de coser, calefones, acondicionadores, estufas, planchas, enchufes ni lámparas. No existirían las computadoras ni los sistemas de comunicación. Tampoco se podría producir y transportar energía, y no habría herramientas o máquinas para sembrar, cosechar, elaborar, procesar, conservar y transportar alimentos o producir vestimentas.



En definitiva, la producción de sustancias minerales y su transformación industrial lograda a través del desarrollo intelectual del hombre, tienen una trascendencia fundamental para la sociedad.

Por eso es importante adquirir un conocimiento básico sobre esta actividad. Es lamentable e inexplicable el abandono de la enseñanza de las ciencias de la tierra en los ámbitos escolares de nuestro país, sobre todo en los colegios secundarios. La gran mayoría de nuestros niños y jóvenes carece de conocimientos básicos de la

actividad minera y de su trascendencia como proveedora de las materias básicas para la industria.

Yacimientos minerales

El punto de partida o la fuente de donde se extraen las materias primas e insumos minerales, son los **yacimientos o depósitos minerales**.

La **geología económica** es la parte de la Geología que estudia los **yacimientos minerales**, combinando su investigación científica con la determinación de sus aptitudes y condiciones para ser aprovechados por el hombre.

La extracción de minerales y rocas, y su eventual elaboración primaria para su aprovechamiento, es la actividad económica que se llama **minería**. Lógicamente, el producto de la explotación tiene que ser “vendible”. Esta última palabra es básica desde el punto de vista comercial, porque para producir una sustancia mineral es necesario que exista alguien dispuesto a comprarla. En otras palabras, la **oferta** de un determinado producto tiene que responder a una **demand**a del mercado.

Conceptos básicos

*Un **yacimiento mineral** se define como una concentración muchas veces anormal de una determinada sustancia mineral, o grupo de minerales, susceptible de ser aprovechada con beneficio.*

Se habla de una **concentración, muchas veces anormal**, porque la sustancia en cuestión puede encontrarse en muchos lugares como componente común de las rocas pero, para que sea considerada como un **yacimiento**, debe reunir ciertas características de calidad, forma y cantidad que superan lo común.

Por ejemplo, casi todas las rocas superficiales contienen aluminio (en promedio 8%). Sin embargo, en pocos lugares hay yacimientos de aluminio porque para ser explotable tienen que presentarse en forma de óxidos, contener más del 30% de metal, en una cantidad suficiente para justificar una inversión y tener una forma que permita su explotación económica.

Otro ejemplo: la materia prima fundamental para fabricar vidrio es la arena. Arena hay en todas partes, pero para que sirva en esta industria tiene que tener más de un 97 % de cuarzo (SiO_2), y esto es poco común.

Todos los yacimientos se encuentran en el subsuelo, pero algunos son visibles, aunque sea en parte, y otros están totalmente ocultos. Puede decirse que la mayoría de las rocas ornamentales (granitos, mármoles) y los materiales de construcción se explotan de yacimientos superficiales (canteras). Otros minerales suelen explotarse hasta cierta profundidad. Las minas de oro de Sudáfrica son las más profundas y han superado los 3.000 metros. En Argentina, la mina Aguilar se ha desarrollado hasta unos 1.000 metros. Las perforaciones más profundas con fines de extracción de petróleo no exceden los diez mil metros de profundidad.

El término *mena* se utiliza para definir la sustancia mineral que se puede extraer con beneficio económico. Sus componentes útiles se llaman *minerales de mena* y los que acompaña sin valor económico, *ganga*. La mena se aloja en muchos casos en fracturas de la roca. Esa roca que acompaña a la mena se llama *caja o roca de caja*.

Clasificación de los yacimientos

Los yacimientos minerales se pueden clasificar según su interés económico en:

- **Metalíferos**
- **No metalíferos**

- **Rocas de aplicación**
- **Gemas**

Yacimientos metalíferos: En los yacimientos metalíferos, el valor económico depende del contenido de elementos metálicos. Se encuentran en baja proporción como elementos nativos o minerales, por ello hay que concentrarlos y en muchos casos, refinarlos. Los depósitos minerales metálicos constituyen concentraciones anómalas de un elemento (o elementos) en la corteza terrestre. Para que un determinado elemento llegue a constituir un yacimiento explotable económicamente, el metal debe estar concentrado muy por encima de su abundancia media en la corteza terrestre. El grado de enriquecimiento varía para cada elemento dependiendo del valor de cada metal.

Yacimientos no metalíferos: Corresponden a aquellos yacimientos cuyas sustancias minerales se utilizan en procesos industriales, directamente o mediante una preparación adecuada. En general, los minerales industriales persisten con las mismas propiedades desde la cantera hasta su aplicación final.

Los yacimientos no metálicos pueden presentarse como depósitos monominerales (fluorita) o poliminerales, como los que se encuentran en las pegmatitas de cuarzo, feldespato y micas.

Muchas veces se refieren a estos yacimientos como ‘minerales industriales’ y se los define como: *no metálicos, no energéticos extraídos y procesados para usos industriales, sumados a aquellas menas metálicas utilizadas en aplicaciones no metalíferas.*

Gemas: Las gemas son minerales que tienen propiedades físicas y ópticas que al ser cortadas y pulidas pueden usarse en joyería y ornamentos.

Rocas de aplicación

Las rocas de aplicación, también conocidas como Rocas Industriales o de Construcción, son rocas “no metalíferas”, que se usan directamente en la industria de la construcción o son usados como materias primas para la elaboración de insumos para la misma. Hay sustancias de este grupo que tienen variadas aplicaciones industriales, como ocurre con muchas materias primas. Por su belleza (color, diseño, brillo) y resistencia son utilizados también para la protección y ornamentación de aquellos sectores de los edificios más expuestos al desgaste, como los pisos y las partes bajas de los frentes.

Entre los materiales más usados pueden citarse algunas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Se destacan diferentes tipos de mármoles, con gran variedad de colores y dibujos; granitos y basaltos, serpentinas, travertinos, etc. Los adoquines que aún tapizan el suelo de muchas calles son generalmente de granito o de gneiss.

Algunas rocas de aplicación pueden ser, las ornamentales (granitos, mármoles, pizarras), caliza, yeso, pórfidos, piedra laja, piedra partida, arcillas, materiales volcánicos, serpentina.

Rocas Ornamentales

Las rocas ornamentales o “piedra natural” son las rocas que se explotan industrialmente para la obtención de bloques, losas o placas para recubrimientos usados en construcción. En principio la gran mayoría de las rocas tanto ígneas,

metamórficas como sedimentarias pueden tener aplicación como rocas ornamentales. Sin embargo, sólo se usan aquellas que se consideran estéticamente bellas y que son suficientemente duras y resistentes para ser utilizadas en elementos estructurales (construcción, elementos decorativos o artísticos). Los criterios de selección suelen ser el color, la textura, la facilidad de pulimiento, la durabilidad, la resistencia e incluso aspectos históricos (por conservación de un determinado entorno arquitectónico).

Desde un punto de vista comercial, las rocas ornamentales se agrupan en tres tipos:

1. **Granitos**
2. **Mármoles y calizas marmóreas**
3. **Pizarras**

Además de los tres grandes grupos de rocas ornamentales, existen otras tales como areniscas, calizas no pulimentables, cuarcitas, alabastro, etc. La mayor parte se obtiene de trabajos de cantería y se emplean en proyectos urbanos según tradiciones locales. Su presencia es destacada en el ámbito del patrimonio artístico.

Caliza

La gran mayoría de las calizas son rocas sedimentarias de origen biológico, formadas en plataformas marinas. Hay una cantidad menor de calizas de origen químico, y también las hay formadas en lagunas. Están compuestas principalmente por calcita (CaCO_3) y cantidades menores de arcilla, cuarzo y otros minerales. La caliza es una roca muy común y abundante aunque no cualquier caliza es apta para uso industrial. La producción y las reservas de caliza son sólo superadas en cantidad por la producción y reservas de arenas para la construcción y el canto rodado.

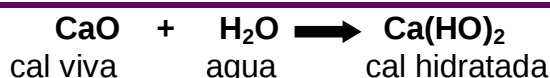
La caliza, como así también su derivado metamórfico, el mármol, es la materia prima fundamental para la fabricación de **cal** y **cemento**, pero, además tiene muchos otros usos industriales.

La **dolomía** (y el mármol dolomítico) es una roca muy parecida, que a simple vista se confunde con una caliza. Es menos frecuente. Su principal mineral es la **dolomita** [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]

Fabricación de cal: La cal se fabrica calcinando calcita (CaCO_3) natural a 900° hasta separar el óxido de calcio (CaO) por desprendimiento de dióxido de carbono (CO_2).



Si la materia prima es calcita pura la calcinación produce 56% de cal viva y 44% de dióxido de carbono. En la práctica se usan calizas con un contenido de calcita no menor de 95%, preferentemente desprovistas de sílice libre. Si a la cal viva se le agrega el agua suficiente para su hidratación se obtiene cal hidratada, que es la que normalmente se comercializa para la industria de la construcción:



Fabricación de cemento: El cemento Portland se fabrica mezclando caliza y arcilla. La mezcla se hace de tal manera de lograr la siguiente relación entre los componentes:

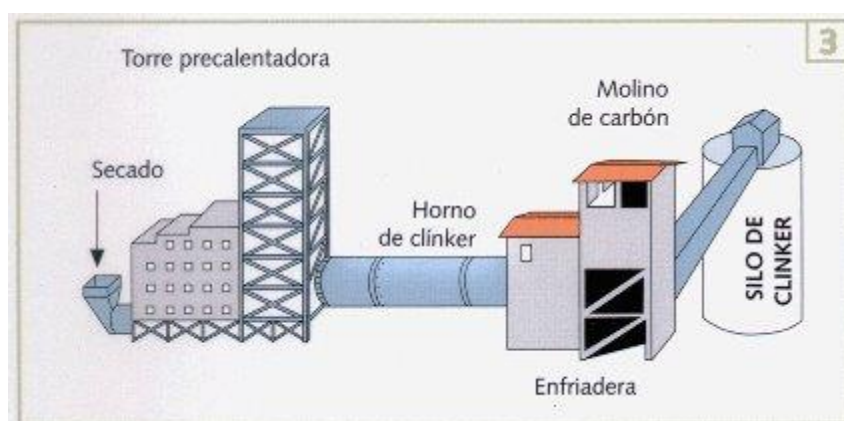
75% de CaCO_3 (calcita)
 13% de SiO_2 (sílice)
 12% de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (alúmina ó aluminato + óxido férrico)

La mezcla se somete a temperaturas de 1400 a 1500°C y se obtiene **clinker**, cuya composición es:

Composición del clinker		
Aprox. 60%	Silicato tricálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$
Aprox. 14%	Silicato bicálcico	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$
Aprox. 11%	Aluminato tricálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$
Aprox. 8%	Ferrito aluminato tetracálcico	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$

El clinker así obtenido, para su utilización como cemento se muele agregándole un 3% de yeso crudo, que sirve para retardar el fraguado.

Excepcionalmente puede darse el caso de existir una caliza que naturalmente tenga la composición ideal para alimentar los hornos de fabricación del clinker. Sin embargo, normalmente se obtiene esa composición mezclando caliza, que provee calcita con la proporción necesaria de arcilla que provea SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . Lógicamente no puede utilizarse ninguna caliza que no tenga como mínimo 75% de CaCO_3 .



El cemento blanco se fabrica de la misma manera pero las materias primas deben estar desprovistas de óxidos de hierro y magnesio, que son los elementos que le dan color. En este caso no se usa cualquier arcilla sino caolín o pirofilita.

Caliza triturada y molida: Las **calizas, travertinos y mármoles** con alto contenido de calcita se comercializan en cantidades importantes triturados o molidos. En tamaños de 1 a 4 cm se usan junto con dolomita como fundente escorificante en los procesos de obtención de arrabio y acero. El triturado también se destina a la fabricación de mosaicos, mesadas, y otras placas denominadas comercialmente materiales calcáreos y “graníticos”.

En polvo, con el nombre de **carbonato de calcio** y con distintas granulometrías tiene múltiples aplicaciones como carga en la industria de las pinturas, plásticos, caucho, papel, esmaltes, alimentos balanceados, farmacopea, etc. También es muy útil su uso para neutralizar la acidez de suelos destinados a la agricultura. Actualmente los polvos limpiadores hogareños se componen fundamentalmente de carbonato de calcio.

Cabe aclarar que en la industria se le llama **carga** a toda sustancia inerte que se agrega para dar cuerpo o solidez, o para servir de soporte a otra sustancia que es la sustancia activa.

Fabricación de soda Solvay: La caliza y la sal común (halita, NaCl) son las dos materias primas para fabricar carbonato de sodio (Na_2CO_3) por el procedimiento Solvay. Al igual que en la industria de la cal se requieren calizas de alto contenido en CaCO_3 .

Yeso

La palabra yeso designa tanto al mineral ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como a la roca sedimentaria de origen evaporítico cuyo componente mineralógico esencial es el yeso.

Se utiliza en forma natural, con el nombre de yeso crudo o sulfato de calcio, y también calcinado, con diversas denominaciones como yeso París, yeso alfa, yeso beta, yeso de construcción o de obra, de acuerdo a las técnicas de calcinación y aptitud del producto obtenido.

Yeso crudo: Casi todo el yeso natural que se comercializa se destina a la industria del cemento. El cemento portland contiene un 3% de yeso crudo molido, que se agrega como retardador del fraguado. Para ese fin se requiere yeso con contenidos mínimos de 85% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sulfato de calcio hidratado).

Una pequeña parte del yeso crudo se destina a las industrias de las pinturas y las bebidas alcohólicas. También suele usarse como corrector o acondicionador de suelos.

Yeso calcinado: Calentado el yeso a 128°C pierde las tres cuartas partes de su agua de composición.



En este estado el yeso adquiere la propiedad de hidratarse nuevamente con agregado de agua y fraguar al secarse. La mayor parte del yeso calcinado se destina a la industria de la construcción.

El yeso crudo destinado a este proceso tiene generalmente más de 85% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Para obtener yesos especiales, como los que se usan en ortopedia, en modelo para cerámica o en mecánica dental, se utilizan materias primas con un contenido mínimo de 95% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

La calcinación debe ser cuidadosamente controlada porque si se supera una temperatura de 163°C el yeso pierde toda el agua de su composición, transformándose en anhidrita (CaSO_4), compuesto que no se hidrata nuevamente y en consecuencia no tiene utilidad.

Aplicaciones del yeso





Mármol

La denominación tiene dos acepciones. Geológicamente es una caliza o dolomía metamórfica. Comercialmente es cualquier roca carbonática que puede cortarse y pulirse para su utilización en forma de bloques tallados o en placas para revestimiento en distintos tipos de edificación, para mesadas u otros usos similares. Esta última acepción comprende los siguientes materiales:

Mármoles auténticos: rocas metamórficas formadas por recristalización de carbonatos. Son comunes, especialmente en el ámbito de las Sierras Pampeanas, pero las principales explotaciones se ubican en Córdoba.

Calizas compactas: rocas sedimentarias bien diagenizadas, con escasa o nula porosidad. Son abundantes. La principal producción procede de San Juan.

Mármol ónix: depósitos carbonáticos estratificados, compactos, originados a partir de la precipitación superficial de aguas bicarbonatadas provenientes de vertientes. Se explotan yacimientos en San Luis (donde se ha desarrollado una interesante artesanía para elaborar artículos de ornamento), Mendoza, Salta y San Juan.

Travertino: son depósitos del mismo origen que el ónix calcáreo pero con burbujas, huecos o impurezas abundantes. Los principales yacimientos del país están en San Juan (La Laja). En menor medida se produce en Córdoba y La Rioja.

Todas estas rocas comercialmente llamadas mármoles son bastante resistentes. Sin embargo, sus componentes mayoritarios, calcita y/o dolomita, son minerales relativamente blandos. Esta propiedad y la belleza de sus superficies pulidas ha hecho que desde tiempos históricos muy lejanos se hayan usado para elaborar piezas torneadas y talladas como sillares, columnas y vigas en la construcción de edificios importantes. También es uno de los materiales predilectos de los escultores que tallan hermosas esculturas a partir de sus bloques en bruto. Para ser aptos para los usos indicados, los mármoles deben reunir las siguientes características:

- Carecer o tener escasa fracturación para que se puedan obtener bloques de cierto tamaño que puedan ser procesados en máquinas de aserrado (telares) y pulimento, como así también en tornos y otras herramientas.
- Ser bien compactos y carecer de minerales duros (cuarzo especialmente) que compliquen y encarecen el proceso de corte.
- Carecer de minerales solubles o alterables por la acción de agentes atmosféricos (sulfuros, sulfosales, sulfatos, cloruros).
- Tener aspecto agradable en corte y pulido.



Granito

Cualquier roca magmática plutónica, y aún algunas metamórficas de alto grado (gneises inyectados) puede denominarse comercialmente “granito”. Las más comúnmente usadas son granito, tonalita, díorita, gabro.

En general son rocas duras y resistentes que también se usan cortadas y pulidas como material de revestimiento, mesadas, pisos, etc. Los granitos, por ser más duros que los mármoles, resisten la abrasión y conservan su pulimento aún cuando se usan en pisos y escaleras.

De manera similar a los mármoles, los granitos no deben tener fracturación ni minerales alterables ante la acción atmosférica (especialmente sulfuros).



En realidad es normal que haya algún tipo de diaclasas aún en los yacimientos de granitos más compactos. Estas diaclasas deben estar presentes en mínima cantidad y separadas entre si lo suficiente como para permitir extraer bloques enteros, escuadrados, de más de tres metros cúbicos.

En Argentina las principales provincias productoras de granito en bloques son Buenos Aires, San Luis, Córdoba y La Rioja. En Mendoza se utilizan “serpentininas” que son rocas originadas por metamorfismo de rocas magmáticas básicas y ultrabásicas. Comercialmente suelen llamarse mármoles serpentínicos.

Pórfidos

Se trata de rocas hipoabisales, de composición variable entre pórfidos riolíticos y dacíticos, de una extraordinaria dureza y resistencia. Se cortan con herramientas manuales o con máquinas tipo guillotina, aunque también pueden usarse las mismas máquinas con que se trabaja el granito. Principalmente se está usando como bloques y placas de pequeño tamaño, de aspecto rústico, para veredas, adoquinados y otras construcciones.

Piedra laja y pizarra

Cualquier roca que pueda separarse naturalmente en placas de pequeño espesor y superficie relativamente grande, se denomina **piedra laja**. Las más comunes son rocas sedimentarias clásticas, de grano medio a fino, a veces tobáceas o calcáreas. Son relativamente abundantes y variadas en color, textura, aspecto y resistencia a agentes atmosféricos.

Las **pizarras** son también rocas sedimentarias clásticas, de grano fino que pueden llegar a tener un incipiente metamorfismo y también tienen la propiedad de separarse en placas muy finas, aptas para elaborar tejas para techos.

Arena, ripio y piedra bola

Estos términos designan simplemente a cualquier tipo de **arena, grava y cantos rodados** útiles en la industria de la construcción. Son materiales sedimentarios tan

comunes que se encuentran prácticamente en todas partes. Técnicamente junto con la piedra partida, integran la familia de los **áridos**.

Los áridos se definen como materiales inertes que, aglomerados por una matriz, forman hormigón, mortero, argamasa, mezclas asfálticas, etc. Si bien todavía se siguen usando áridos de cualquier origen y características, la moderna tecnología de la construcción tiene cada vez mayores exigencias en cuanto a su calidad. En general se refieren a granulometría, ausencia de arcillas, ausencia de sales y álcalis y ausencia de otros minerales reactivos.

Piedra partida

Si el árido a utilizarse en una obra determinada tiene que dar una buena trabazón entre fragmentos no se deben usar grava ni cantos rodados, sino piedra partida. Esta puede ser cualquier roca coherente (no disgregable ni soluble) triturada. Incluso en muchos casos se usan descartes de canteras de granitos, mármoles o calizas. El conjunto de áridos que se usan para construir los terraplenes que sostienen las vías férreas se denomina basalto.

Arcillas

En el conjunto de materias primas para la construcción no puede dejar de mencionarse a las arcillas, que han servido desde los albores de la civilización para fabricar adobes, ladrillos y piezas cerámicas de todo tipo y tamaño. Se trata de materiales de variada composición y características que tienen una gran cantidad de aplicaciones industriales (son tratadas en detalle en el capítulo de minerales industriales).

MATERIALES VOLCÁNICOS

Perlita y obsidiana

La **perlita** es un vidrio volcánico con numerosas fracturas concéntricas que le confieren una estructura perlítica, como si fuera una “roca con perlas”. La mayoría de las perlitas son de composición riolítica y contienen una cierta cantidad de agua y burbujas de aire en su masa.

El término **obsidiana** se reserva para un vidrio volcánico de similar composición, pero más oscuro y con escasa cantidad de agua contenida.

La perlita se calcina en hornos (entre 650° y 1000°C) para producir la expansión y la explosión de las burbujas de convierten a la roca en un agregado muy liviano, con excelentes propiedades aislantes y filtrantes. Este material se denomina **perlita expandida**.

Pómez y granulado volcánico

La **pumita o piedra pómez** es una lava vítrea, extremadamente vesiculosa, de composición generalmente riolítica, de colores claros (blanco, gris). También suele calificarse como espuma volcánica solidificada.

Granulado volcánico es el nombre comercial de una **toba pumícea**, que es un agregado fundamentalmente compuesto por clastos vítreos. El vidrio volcánico que compone estos clastos tiene cierta cantidad de agua y burbujas de aire en su masa.

Estos materiales tan porosos son muy livianos y por ello suelen usarse en la industria de la construcción como áridos livianos. Naturalmente son buenos aislantes térmicos y acústicos.

Puzolana

El término puzolana no corresponde a una roca ni a una especie mineral. Se aplica a ciertos materiales naturales o artificiales que, mezclados con el cemento portland mejoran sus condiciones de fraguado en el hormigón. Las puzolanas se muelen junto con el clinker y el yeso para obtener cemento puzolánico. El porcentaje de puzolanas de la mezcla varía según el caso entre 15 y 50%.

Los materiales naturales que se usan para estos fines son:

- a) Rocas piroclásticas (tobas, cineritas, cenizas) y volcánicas con una importante cantidad de componentes vítreos silíceos.
- b) Rocas sedimentarias silíceas (con ópalo, calcedonia, pedernal).

El rasgo común que tienen estos materiales es la presencia de “sílice reactiva” en su composición.

Desde el punto de vista químico, el agregado de puzolanas evita, o disminuye a un mínimo, la perjudicial reacción entre el cemento y los áridos (arena, canto rodado). En efecto, durante el fraguado, el cemento portland libera calcio y álcalis que permanecen disueltos en el agua remanente, en una especie de “solución cáustica”. Si los áridos contienen alguna forma de “sílice reactiva” esta reacciona con los álcalis formándose “geles alcalinos de sílice” que siguen absorbiendo agua y producen presiones que originan fisuras o trizas en el hormigón. Estas fisuras deterioran al hormigón y, además, lo hacen atacable por soluciones agresivas desde el exterior (por ejemplo, agua de mar).

La incorporación de puzolanas en el cemento permite que la acción del calcio y los álcalis se neutralice por la formación de silicatos estables en la propia masa del cemento, evitando su posterior ataque a los áridos.

Por otra parte, el agregado de puzolanas proporciona al hormigón otras ventajas:

- a) Baja el calor del fraguado
- b) Mejora el fraguado bajo el agua
- c) Disminuye el costo del cemento si la puzolana se encuentra cerca de la fábrica.

En Las Heras, provincia de Mendoza, se fabrican cementos puzolánicos con tobas que se extraen de canteras del departamento San Carlos. De la zona de Paganzo, en La Rioja, se extraen tobas para fabricar el mismo tipo de cemento en Córdoba.

Serpentinita y otras rocas magnesianas

La **serpentina**, principal componente de las serpentinitas, es un silicato de magnesio hidratado que se origina por metamorfismo metasomático de rocas ultrabásicas.

Cortada en grandes o pequeñas placas se comercializa como “mármol serpentina”. En los últimos años la industria siderúrgica está usando serpentinitas y otras rocas ricas en magnesio, en las mezclas de fundentes, en lugar de dolomita.

Existen cinco tipos de serpentina:

1. Antigorita: de color verde oscuro, translúcida.
2. Crisólito o asbesto: formado por fibras finas y paralelas, que se separan fácilmente. (aislante térmico).
3. Serpentina corriente: de color oscuro, a veces mineral multicolor.
4. Serpentina noble: el color varía entre verde y amarillo.
5. Serpentina masiva verde antrico; verdosa jaspeada, utilizada para decoración.

Serpentina



Bibliografía:

- Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. OPS – OMS (2003),
- Estrategia para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU) (2005) - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable – Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación
- Instituto de ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires - CEAMSE (2005 / 2006 / 2007 / 2008 / 2009) Estudio de Calidad de los RSU de la Ciudad de Buenos Aires, Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires – CEAMSE.
- Instituto de ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, (2001), Estudio de Calidad y Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos de la Ciudad de Buenos Aires.
- Instituto de ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, (2003), Gestión de los Servicios de Higiene Urbana: El Caso de la Ciudad de Buenos Aires, Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.
- Ley de Presupuestos Mínimos sobre Residuos Sólidos Domiciliarios – Ley 25916.
- Robinson William (1986), The Solid Waste Handbook, John Wiley & Sons.
- Tchobanoglous, G. (1977), Gestión Integral de los Residuos Sólidos, Mc Graw-Hill.
- Tchobanoglous, G. (1994), Gestión Integral de los Residuos Sólidos: Principios de Ingeniería y Aspectos de la Gestión, Mc Graw-Hill.
- University of Wisconsin (2002), Solid Waste Landfills Correspondence Course, Madison, USA
- “Combustibles alternativos”, Silvia Daniela Romano – Erenio González Suarez – Miguel Ángel Laborde
- *Contenidos didácticos – Secretaría de Energía de la Nación.*
- JICA, Experiencia de Japón: gestión de desechos sólidos.
- Martínez Centeno, L.M. (2002). Incineración de residuos sólidos urbanos. Master en gestión y administración ambiental. Fundación Biodiversidad. Madrid, España.

- El recorrido de la energía: Biomasa, EDICIÓN PARA LA COMUNIDAD DE MADRID, DIRECCIÓN: Carlos López Jimeno, Director General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid
- www.biodiesel.com.ar
- Manuales de energías renovables: Energía de la biomasa. IDAE – Instituto para Diversificación y el Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio - Gobierno de España
- Secretaría de Energía, **Biocombustibles, Marco Legal de Referencia**
- **Biocarburantes líquidos: Biodiesel y Bioetanol.** Juan Manuel García Camús y José Ángel García Laborda. Colección *vt* Informe de Vigilancia Tecnológica dirigida por José de la Sota Ríos. Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (Citme). Comunidad de Madrid. Fundación para el conocimiento madri+d. Dirección General de Universidades e Investigación. 2006.
- **Atlas de la Agroingeniería y los Biocombustibles en las Américas.** Capítulo II “Biodiesel”. Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles – Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, C.R., 2010.
- **Informativo Semanal N°1603. “La industria del Biodiesel en Argentina – El biocombustible en el mundo”.** Bolsa de Comercio de Rosario. 5/04/2013
- **El biodiesel, de nuevo en el camino del crecimiento.** Artículo 21-10-2014. Revista Petroquímica, Petróleo, Gas, Química & Energía. (www.revistapetroquimica.com)
- **Industria Argentina de Biodiesel: Actualidad y Perspectivas.** Cámara Argentina de Biocombustibles. Jornada INAI- Bolsa de Cereales. Buenos Aires – Agosto 2013
- **Bioetanol de caña de azúcar: energía para el desarrollo sostenible.** Coordinación BNDES y CGEE. – Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- Lavandaio, Eddy Omar Luis, 2008. Elementos de geología, mineralogía y materias primas minerales, 2ª edición. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires.
- **Las 10 plantas de biomasa más grandes del mundo.** José A. Roca. El periódico de la energía.
- Minerales y rocas en el arte, la ciencia y la tecnología (José Sellés – Martínez; Liliana N. Castro) Colección Ciencia Joven - Eudeba
- Lavandaio, Eddy Omar Luis, 2008. Elementos de geología, mineralogía y materias primas minerales, 2ª edición. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires.