

Residuos sólidos, Eliminación de, eliminación de los materiales sólidos o semisólidos sin utilidad que generan las actividades humanas y animales. Se separan en cuatro categorías: residuos agrícolas, industriales, comerciales y domésticos. Los residuos comerciales y domésticos suelen ser materiales orgánicos, ya sean combustibles, como papel, madera y tela, o no combustibles, como metales, vidrio y cerámica. Los residuos industriales pueden ser cenizas procedentes de combustibles sólidos, escombros de la demolición de edificios, materias químicas, pinturas y escoria; los residuos agrícolas suelen ser estiércol de animales y restos de la cosecha.

Métodos de eliminación

La eliminación de residuos mediante vertido controlado es el método más utilizado. El resto de los residuos se incinera y una pequeña parte se utiliza como fertilizante orgánico. La selección de un método u otro de eliminación se basa sobre todo en criterios económicos, lo que refleja circunstancias locales. En cuanto al reciclado, se prevee que para el año 2000 se reciclará la mitad de los residuos domésticos.

Vertido controlado El vertido controlado es la manera más barata de eliminar residuos, pero depende de la existencia de emplazamientos adecuados. En general, la recogida y transporte de los residuos suponen el 75% del coste total del proceso. Este método consiste en almacenar residuos en capas en lugares excavados. Cada capa se prensa con máquinas hasta alcanzar una altura de 3 metros; entonces se cubre con una capa de tierra y se vuelve a prensar. Es fundamental elegir el terreno adecuado para que no se produzca contaminación ni en la superficie ni en aguas subterráneas. Para ello se nivela y se cultiva el suelo encima de los residuos, se desvía el drenaje de zonas más altas, se seleccionan suelos con pocas filtraciones y se evitan zonas expuestas a inundaciones o cercanas a manantiales subterráneos. La descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos genera gases. Si se concentra una cantidad considerable de metano pueden producirse explosiones, por lo que el vertedero debe tener buena ventilación. Técnicas más recientes apuestan por el aprovechamiento de estos gases procedentes de la descomposición como recurso energético.

Incineración

Las incineradoras convencionales son hornos o cámaras refractarias en las que se queman los residuos; los gases de la combustión y los sólidos que permanecen se queman en una segunda etapa. Los materiales combustibles se queman en un 90%. Además de generar calor, utilizable como fuente energética, la incineración genera dióxido de carbono, óxidos de azufre y nitrógeno y otros contaminantes gaseosos, cenizas volátiles y residuos sólidos sin quemar. La emisión de cenizas volátiles y otras partículas se controla con filtros, lavadores y precipitadores electrostáticos.

Elaboración de fertilizantes

La elaboración de fertilizantes o abonos a partir de residuos sólidos consiste en la degradación de la materia orgánica por microorganismos aeróbicos. Primero se clasifican los residuos para separar materiales con alguna otra utilidad y los que no pueden ser degradados, y se entierra el resto para favorecer el proceso de descomposición. El humus resultante contiene de un 1 a un 3% de nitrógeno, fósforo y potasio, según los materiales utilizados. Después de tres semanas el producto está preparado para mezclarlo con aditivos, empaquetarlo y venderlo.

Recuperación de recursos energéticos

Es posible recuperar energía de algunos procesos de eliminación de residuos. En general se pueden hacer dos grupos: procesos de combustión y procesos de pirólisis. Algunas incineradoras se aprovechan para generar vapor. En las paredes de la cámara de combustión se colocan tubos de caldera; el agua que circula por los

tubos absorbe el calor generado por la combustión de los residuos y produce vapor.

La pirólisis o destilación destructiva es un proceso de descomposición química de residuos sólidos mediante calor en una atmósfera con poco oxígeno. Esto genera una corriente de gas compuesta por hidrógeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, ceniza inerte y otros gases, según las características orgánicas del material pirolizado.

Reciclado

La práctica del reciclado de residuos sólidos es muy antigua. Los utensilios metálicos se funden y remodelan desde tiempos prehistóricos. En la actualidad los materiales reciclables se recuperan de muchas maneras, como el desfibrado, la separación magnética de metales, separación de materiales ligeros y pesados, criba y lavado. Otro método de recuperación es la reducción a pulpa. Los residuos se mezclan con agua y se convierten en una lechada pastosa al pasarlos por un triturador. Los trozos de metal y otros sólidos se extraen con dispositivos magnéticos y la pulpa se introduce en una centrifugadora. Aquí se separan los materiales más pesados, como trozos de cristal, y se envían a sistemas de reciclado; otros materiales más ligeros se mandan a plantas de reciclado de papel y fibra, y el residuo restante se incinera o se deposita en un vertedero.

Las autoridades locales de muchos países piden a los consumidores que depositen botellas, latas, papel y cartón en contenedores separados del resto de la basura. Unos camiones especiales recogen los contenedores y envían estos materiales a las instalaciones de reciclado, reduciendo el trabajo en incineradoras y los residuos en los vertederos.

Residuos peligrosos

Algunas sustancias biológicas, los compuestos químicos tóxicos e inflamables y los residuos radiactivos son peligrosos. Estas sustancias pueden ser gaseosas, líquidas, semisólidas, sólidas o gaseosas.

Las sustancias radiactivas son peligrosas porque una exposición prolongada a su radiación daña a los organismos vivos (véase Efectos biológicos de la radiación), y porque las sustancias retienen la radiactividad durante mucho tiempo. Este tipo de residuos no se elimina, se almacena dentro de contenedores en lugares protegidos. Se han estado almacenando en fosas marinas, pero este método no permite recuperar lo depositado ni controlar el estado de los contenedores. Otros métodos más adecuados son su almacenamiento en silos de hormigón o en formaciones geológicas profundas, aunque ninguno es del todo fiable a largo plazo.

PAÍS	RESIDUOS DOMÉSTICOS ANUALES (Toneladas)	EQUIVALENCIA POR PERSONA (Kilogramos)
Australia	10.000.000	680
Bélgica	3.082.000	313
Canadá	12.600.000	525
Dinamarca	2.046.000	399
Finlandia	1.200.000	399
Francia	15.500.000	288
Gran Bretaña	15.816.000	282
Italia	14.041.000	246
Japón	40.225.000	288
Países Bajos	5.400.000	381
Nueva Zelanda	1.528.000	488

Noruega	1.700.000	415
España	8.028.000	214
Suecia	2.500.000	300
Suiza	2.146.000	336
Estados Unidos	200.000.000	875

Papel, material en forma de hojas delgadas que se fabrica entretejiendo fibras de celulosa vegetal. El papel se emplea para la escritura y la impresión, para el embalaje y el empaquetado, y para numerosos fines especializados que van desde la filtración de precipitados en disoluciones hasta la fabricación de determinados materiales de construcción. El papel es un material básico para la civilización del siglo XX, y el desarrollo de maquinaria para su producción a gran escala ha sido, en gran medida, responsable del aumento en los niveles de alfabetización y educación en todo el mundo.

Fabricación manual de papel

El proceso básico de la fabricación de papel no ha cambiado a lo largo de más de 2.000 años, e implica dos etapas: trocear la materia prima en agua para formar una suspensión de fibras individuales y formar láminas de fibras entrelazadas extendiendo dicha suspensión sobre una superficie porosa adecuada que pueda filtrar el agua sobrante.

En la fabricación manual de papel, la materia prima (paja, hojas, corteza, trapos u otros materiales fibrosos) se coloca en una tina o batea y se golpea con un mazo pesado para separar las fibras. Durante la primera parte de la operación, el material se lava con agua limpia para eliminar las impurezas, pero cuando las fibras se han troceado lo suficiente se mantienen en suspensión sin cambiar el agua de la tina. En ese momento, el material líquido, llamado pasta primaria, está listo para fabricar el papel. La principal herramienta del papelerero es el molde, una tela metálica reforzada con mallas cuadradas o rectangulares. El dibujo de las mallas puede apreciarse en la hoja de papel terminada si no se le da un acabado especial.

El molde se coloca en un bastidor móvil de madera, y el papelerero sumerge el molde y el bastidor en una tina llena de esta pasta. Cuando los saca, la superficie del molde queda cubierta por una delgada película de pasta primaria. El molde se agita en todos los sentidos, lo que produce dos efectos: distribuye de forma uniforme la mezcla sobre su superficie y hace que las fibras adyacentes se entrelacen, lo que proporciona resistencia a la hoja. Mientras se agita el molde, gran parte del agua de la mezcla se filtra a través de la tela metálica. A continuación se deja descansar el molde, con la hoja de papel mojado, hasta que ésta tiene suficiente cohesión para poder retirar el bastidor.

Una vez retirado el bastidor del molde, se da la vuelta a este último y se deposita con suavidad la hoja de papel sobre una capa de fieltro. Después se coloca otro fieltro sobre la hoja, se vuelve a poner una hoja encima y así sucesivamente. Cuando se han colocado unas cuantas hojas de papel alternadas con fieltros, la pila de hojas se sitúa en una prensa hidráulica y se somete a una gran presión, con lo que se expulsa la mayor parte del agua que queda en el papel. A continuación, las hojas de papel se separan de los fieltros, se apilan y se prensan. El proceso de prensado se repite varias veces, variando el orden y la posición relativa de las hojas. Este proceso se denomina intercambio, y su repetición mejora la superficie del papel terminado. La etapa final de la fabricación del papel es el secado. El papel se cuelga de una cuerda en grupos de cuatro o cinco hojas en un secadero especial hasta que la humedad se evapora casi por completo.

Los papeles que vayan a emplearse para escribir o imprimir exigen un tratamiento adicional después del secado, porque de lo contrario absorberían la tinta, y el texto y las imágenes quedarían borrosas. El tratamiento consiste en conferirle apresto al papel sumergiéndolo en una solución de cola animal, secar el papel aprestado y prensar las hojas entre láminas de metal o de cartón liso. La intensidad del prensado determina la textura de la superficie del papel. Los papeles de textura rugosa se prensan ligeramente durante

un periodo relativamente corto, mientras que los de superficie lisa se prensan con más fuerza y durante más tiempo.

Fabricación mecanizada de papel

Aunque los procedimientos esenciales de la fabricación mecanizada de papel son los mismos que los de la fabricación manual, el proceso mecánico es bastante más complicado. La primera etapa es la preparación de la materia prima. Los materiales más usados hoy día son los trapos de algodón o lino y la pulpa de madera. En la actualidad, más del 95% del papel se fabrica con celulosa de madera. Para los papeles más baratos, como el papel prensa empleado en los periódicos, se utiliza sólo pulpa de madera triturada; para productos de más calidad se emplea pulpa de madera química, o una mezcla de pulpa y fibra de trapos, y para los papeles de primera calidad se utiliza sólo fibra de trapos.

Los trapos empleados para la fabricación de papel se limpian mecánicamente para quitarles el polvo y otras materias extrañas. Tras esta limpieza, se cuecen en una gran caldera giratoria a presión, donde se hierven con cal durante varias horas. La cal se combina con las grasas y otras impurezas de los trapos para formar jabones insolubles, que pueden eliminarse más tarde mediante un aclarado, y al mismo tiempo reduce cualquier tinte de los trapos a compuestos incoloros. A continuación, los trapos se transfieren a una máquina denominada pila desfibradora, una cuba larga dividida longitudinalmente de forma que haya un canal continuo alrededor de la misma. En una mitad de la pila hay un cilindro horizontal con cuchillas que gira rápidamente; la base curva de la pila también está equipada con cuchillas. La mezcla de trapos y agua pasa entre el cilindro y la base, y los trapos quedan reducidos a fibras. En la otra mitad de la pila, un cilindro hueco de lavado cubierto con una fina tela metálica recoge el agua de la pila y deja atrás los trapos y fibras. A medida que la mezcla de trapos y agua va fluyendo alrededor de la pila desfibradora, la suciedad se elimina y los trapos se van macerando hasta que acaban separados en fibras individuales. A continuación, la pasta primaria se pasa por una o más desfibradoras secundarias para trocear aún más las fibras. En ese momento se añaden los colorantes, las sustancias para aprestarlo, como la colofonia o la cola, y los materiales de relleno, como sulfato de calcio o caolín, que aumentan el peso y la consistencia del papel terminado.

La preparación de la madera para la fabricación de papel se efectúa de dos formas diferentes. En el proceso de trituración, los bloques de madera se aprietan contra una muela abrasiva giratoria que va arrancando fibras. Las fibras obtenidas son cortas y sólo se emplean para producir papel prensa barato o para mezclarlas con otro tipo de fibras de madera en la fabricación de papel de alta calidad. En los procesos de tipo químico, las astillas de madera se tratan con disolventes que eliminan la materia resinosa y la lignina y dejan fibras puras de celulosa. El proceso químico más antiguo fue introducido en 1851, y emplea una solución de sosa cáustica (hidróxido de sodio) como disolvente. La madera se cuece o digiere en esta solución en una caldera a presión. Las fibras producidas con este proceso no son muy resistentes, pero se emplean mezcladas con otras fibras de madera. Un proceso empleado con frecuencia en la actualidad utiliza como disolvente sulfato de sodio o de magnesio.

Hoy, la mayoría del papel se fabrica en máquinas Fourdrinier, similares a la primera máquina eficaz para fabricar papel, desarrollada en los primeros años del siglo XIX. El corazón de la máquina Fourdrinier es una cinta sin fin de tela metálica que se mueve horizontalmente. La pulpa acuosa cae sobre la cinta, que va circulando sobre una serie de rodillos. Una pila poco profunda situada bajo la cinta recoge la mayor parte del agua que escurre en esta etapa. Este agua se vuelve a mezclar con la pulpa para aprovechar la fibra que contiene. La extensión de la hoja de pulpa húmeda sobre la cinta se limita mediante tiras de goma que se mueven por los lados de la cinta. Las bombas de succión situadas bajo la cinta aceleran el secado del papel, y la cinta se mueve de un lado a otro para contribuir al entrelazado de las fibras. A medida que el papel avanza, pasa bajo un cilindro giratorio cubierto de tela metálica o de alambres individuales, llamado cilindro de afiligranar, que confiere al papel una textura apropiada. Además, la superficie del cilindro tiene letras o figuras trazadas con alambre que pasan al papel en forma de marcas de agua que identifican al fabricante y la calidad del papel. En los papeles fabricados a mano, las figuras de estas marcas se fijan a la superficie del

molde.

Cerca del final de la máquina, la cinta pasa a través de dos rodillos cubiertos de fieltro. Estos rodillos extraen aún más agua de la tira de papel y consolidan las fibras, con lo que dan al papel suficiente resistencia para continuar pasando por la máquina sin el soporte de la cinta. La función de estos rodillos es la misma que la de los fieltros empleados en la fabricación manual. A continuación, el papel se transporta mediante una cinta de tela a través de dos grupos de cilindros de prensado de metal liso. Estos cilindros proporcionan un acabado liso a las dos superficies del papel.

Una vez prensado, el papel está totalmente formado; a continuación se pasa por una serie de rodillos calientes que completan el secado. La siguiente etapa es el satinado, un prensado con rodillos fríos lisos que produce el acabado mecánico. Al final de la máquina Fourdrinier, el papel se corta con cuchillas giratorias y se enrolla en bobinas. La fabricación del papel se completa cortándolo en hojas, a no ser que vaya a emplearse en una imprenta continua que utilice el papel en rollos.

Los papeles especiales se someten a tratamientos adicionales. El papel supersatinado es sometido a un proceso posterior de satinado a alta presión entre rodillos metálicos y otros rodillos cubiertos de papel. El papel estucado, como el empleado para la reproducción fototipográfica de calidad, se apresta con arcilla o cola y se satina.

Tamaños de papel

El papel suele venderse por resmas en hojas de tamaños normalizados. Una resma suele contener 480 hojas, aunque las de papel de dibujo o papel fabricado a mano contienen 472. El papel para libros o el papel prensa para imprimir con placa plana se vende en resmas de 500 hojas y en resmas perfectas de 516 hojas. El tamaño más habitual de papel para libros es pliego de 112 por 168 cm. El papel prensa para la impresión en rotativas viene en rollos de distintos tamaños. Un rollo típico de papel prensa puede tener 170 cm de ancho y 8.000 m de largo y pesar unos 725 kg.

Papel de fibra sintética

Desde 1955 se fabrica papel con fibras de naylon, dacron y orlon y con mezclas de estas fibras y pulpa de madera (véase Plásticos). Este tipo de papel se produce con las máquinas habituales de fabricación de papel y puede tener una gran variedad de aspectos y características, desde el papel brillante parecido al normal hasta materiales que parecen tejidos. Las características únicas de los papeles de fibra sintética hacen que tengan muchas aplicaciones para las que el papel corriente no resulta adecuado, en particular como aislantes eléctricos, filtros para aparatos de aire acondicionado, cintas magnéticas para grabación de sonido, tejidos para calzados o entretelas de prendas de vestir.

Papel reciclado

El aumento de la demanda de papel para la vida cotidiana ha multiplicado la posibilidad de utilizar papel de desecho y cartón como pasta de papel; con ello se consigue un gran ahorro de energía en el proceso de fabricación de la pasta virgen y la ventaja adicional de no tener que utilizar madera de los bosques. Las técnicas de reciclaje han evolucionado con mucha rapidez desde la II Guerra Mundial, y los dos sistemas principales de recuperación se aplican sobre papel impreso, que incluye el lavatorio de la tinta, y sobre papel de envoltorio y cartón, de mayor rugosidad y porosidad y con ausencia de grabados.

Historia y producción

Según la tradición, el primero en fabricar papel, en el año 105, fue Cai Lun (o Tsai-lun), un eunuco de la corte Han oriental del emperador chino Hedi (o Ho Ti). El material empleado fue probablemente corteza de

morera, y el papel se fabricó con un molde de tiras de bambú (véase Morera de papel). El papel más antiguo conservado se fabricó con trapos alrededor del año 150. Durante unos 500 años, el arte de la fabricación de papel estuvo limitado a China; en el año 610 se introdujo en Japón, y alrededor del 750 en Asia central. El papel apareció en Egipto alrededor del 800, pero no se fabricó allí hasta el 900 (véase Papiro).

El empleo del papel fue introducido en Europa por los árabes, y la primera fábrica de papel se estableció en España alrededor de 1150. A lo largo de los siglos siguientes, la técnica se extendió a la mayoría de los países europeos. La introducción de la imprenta de tipos móviles a mediados del siglo XV abarató enormemente la impresión de libros y supuso un gran estímulo para la fabricación de papel.

El aumento del uso del papel en los siglos XVII y XVIII llevó a una escasez de trapos, la única materia prima satisfactoria que conocían los papeleros europeos. Hubo numerosos intentos de introducir sustitutos, pero ninguno de ellos resultó satisfactorio comercialmente. Al mismo tiempo se trató de reducir el coste del papel mediante el desarrollo de una máquina que reemplazara el proceso de moldeado a mano en la fabricación del papel. La primera máquina efectiva fue construida en 1798 por el inventor francés Nicholas Louis Robert. La máquina de Robert fue mejorada por dos papeleros británicos, los hermanos Henry y Sealy Fourdrinier, que en 1803 produjeron la primera de las máquinas que llevan su nombre. El problema de la fabricación de papel a partir de una materia prima barata se resolvió con la introducción del proceso de trituración de madera para fabricar pulpa, alrededor de 1840, y del primer proceso químico para producir pulpa, unos 10 años después. Estados Unidos y Canadá son los mayores productores mundiales de papel, pulpa y productos papeleros. Finlandia, Japón, la antigua Unión Soviética y Suecia también producen cantidades significativas de pulpa de madera y papel prensa.