

Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ingeniería

Fundamentos ambientales en Ingeniería

**UNIDAD 4:
EL SUELO COMO FACTOR AMBIENTAL.
CONTAMINACIÓN.**

4.A RECURSOS MINERALES.

Recursos no renovables. Minerales. Suelo y rocas. Origen y formación. Factores y procesos que intervienen en la formación del suelo. Composición. Tipos de suelo. Clasificaciones. Organismos vivos en el suelo.

4.B PROCESOS DE DEGRADACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Urbanización; agricultura y ganadería; obtención de materias primas y energía, industrias; pérdida de biomasa, erosión, generación de residuos. Mediciones en el suelo. El problema de los residuos sólidos. Residuos sólidos urbanos (RSU). Cantidad y composición. Características: humedad, densidad, poder calorífico y relación carbono-nitrógeno. Afectaciones al ambiente.

I. INTRODUCCIÓN

Todos los materiales y productos que se necesitan para el bienestar de los seres humanos en la sociedad vienen de la Tierra. Desde los elementos más básicos como son los alimentos y el agua, la vestimenta y la vivienda, hasta los más complejos, tales como automóviles, aviones y todos los elementos tecnológicos tangibles: televisores, aparatos telefónicos, sistemas de calefacción y refrigeración, electrodomésticos, computadoras, cámaras de video, entre otros, siendo la lista mucho más extensa.

La obtención de cada material o producto supone el uso de muchos otros materiales, así como fuentes de energía que permiten la obtención de productos finales.

Se debe tener conciencia de que todos los recursos que se necesitarán a mediano y largo plazo han de encontrarse en nuestro planeta y, por lo tanto, todos los impactos ambientales asociados con la extracción, utilización y eliminación de estos recursos afectarán la vida de los seres humanos.

En este sentido, desde su fundación en 2012, la Circle Economy Foundation (<https://www.circular.foundation/>) ha reconocido la necesidad urgente de contar con una medición sólida y basada en datos de la economía circular. Esta medición se ha concretado mediante el indicador de "brecha de circularidad". En 2018 con el lanzamiento del primer **Informe sobre la Brecha de Circularidad (CGR®)** en el Foro Económico Mundial de Davos, se reveló que el mundo solo era circular en un 9,1%, significa que solo el 9,1 % de los materiales que ingresan a la economía global eran materias primas secundarias, lo que ponía de manifiesto una enorme brecha de circularidad. Junto con este indicador clave, el CGR (Circularity Gap Report) introdujo una metodología y un marco para medir, monitorear y cerrar esa brecha. Desde entonces, se ha aplicado anualmente a nivel global, y cada vez más a nivel nacional, regional y sectorial para apoyar a los responsables de la toma de decisiones en todo el mundo. Actualmente se sabe que la circularidad global va en declive, alcanzando apenas el 6,9 % en el último informe de 2025, presentado en el Foro Mundial de Economía Circular en São Paulo: la gran mayoría de los materiales que ingresan a la economía son vírgenes, y la proporción de materiales secundarios ha disminuido al 6,9 %.

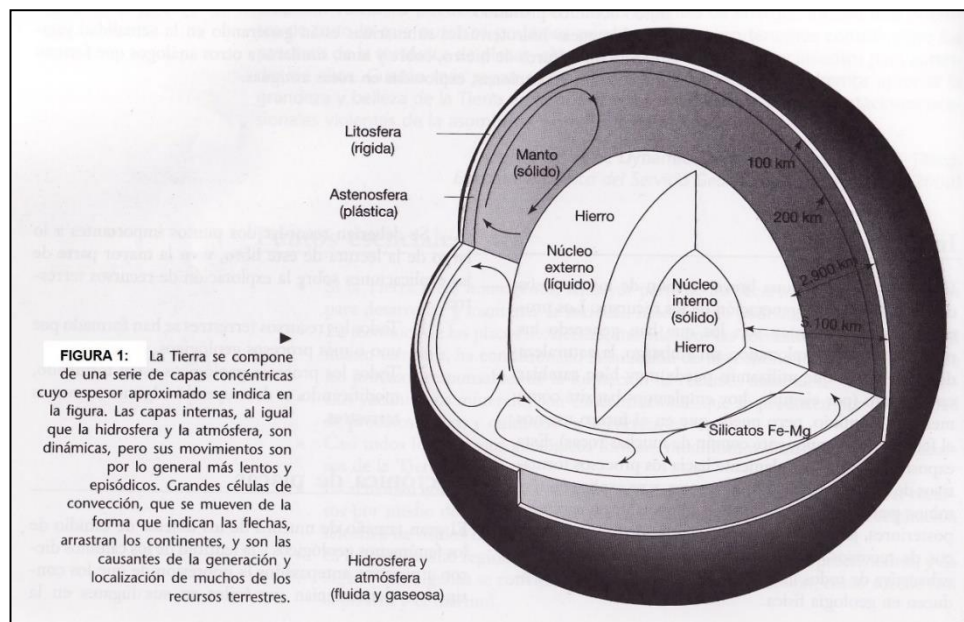
II. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA

La distancia de la superficie de la Tierra a su centro es de 6.400 km aproximadamente. La parte central de la Tierra, el núcleo, empieza a un poco menos de la mitad del trayecto de la superficie al centro. El núcleo interno es una esfera sólida maciza de unos 1.200 km de diámetro, constituida por hierro con algo de níquel, y con una temperatura de hasta 4.300 °C, pero no es líquido porque la presión evita la fusión.

El núcleo externo, que rodea al interno, sí es líquido, con una temperatura de 3.700 a

4.300 °C, con presiones bajas que permiten la fusión. El núcleo externo se extiende de 2.900 a 5.200 km de profundidad (espesor 2300 km). Los núcleos interno y externo constituyen el 31 % de la masa y el 16% del volumen de la tierra.

El núcleo de la tierra está rodeado por una zona envolvente gruesa y sólida llamada manto, con un espesor de 2800 km. Constituye el 82% del volumen de la tierra y el 68% de su masa. Al igual que en el núcleo, el hierro es el componente principal, pero el oxígeno, el silicio y el magnesio también se hallan presentes. La parte más externa del manto es rígida y fuerte, pero las condiciones de presión y temperatura entre los 100 y 200 km son tales que la roca es capaz de fundirse, y ser plástica y viscosa. (Figura 1).



Fuente: [2]

La corteza es la parte de la tierra que más se conoce. Es la más delgada de las zonas componentes de la tierra y constituye el 2 % del volumen del planeta y el 1 % de su masa. Se halla compuesta de dos categorías de material: la corteza oceánica y la corteza continental. Cerca del 71 % de la superficie de la tierra es corteza oceánica, que es un conjunto de regiones bajas con 7 km de espesor, que constituyen la cavidad que aloja gran parte del agua de la Tierra que forma los océanos. También existe un relieve oceánico que se extiende por todos los mares y se constituye como un sistema de cordilleras.

La corteza continental es más alta y gruesa que la oceánica, de hasta 65 km, de espesor bajo las altas cordilleras, con un promedio de 35 km de espesor. Su roca tiene una densidad más baja que la de la corteza oceánica, y los continentes se hallan formados por cadenas de montañas y cratones, que son la parte no montañosa del continente, y en la cual los montes originales han sido erosionados. La plataforma continental es la parte de un cratón que está cubierta por el mar.

II.1 Procesos internos. Tectónica de placas

A partir de los años 60 del siglo XX surge la teoría de tectónica de placas aportando una nueva comprensión de la tierra y de las fuerzas que actúan dentro de ella. Esta teoría asume que la corteza terrestre consiste en un cierto número de "placas" de formas diversas y que las mismas han cambiado lentamente de dimensiones y de orientación a lo largo de los tiempos geológicos. La ubicación de los volcanes y los sitios donde se producen terremotos están asociados a estas placas.

La tierra se libera del calor en su interior por medio de la generación de grandes células de convección dentro del manto. Estas células trasladan el calor hacia la superficie, liberando una parte de él en el volcanismo, en las zonas de ascenso o separación de placas (llamadas

bordes divergentes de placas tectónicas), como en las dorsales oceánicas. A medida que los nuevos magmas son empujados hacia arriba, las rocas volcánicas jóvenes, recientemente enfriadas, que constituyen las placas se mueven lateralmente, alejándose del borde. En otras zonas de borde, llamadas *zonas de subducción*, las rocas enfriadas se hunden de nuevo en el manto (Figura 2).

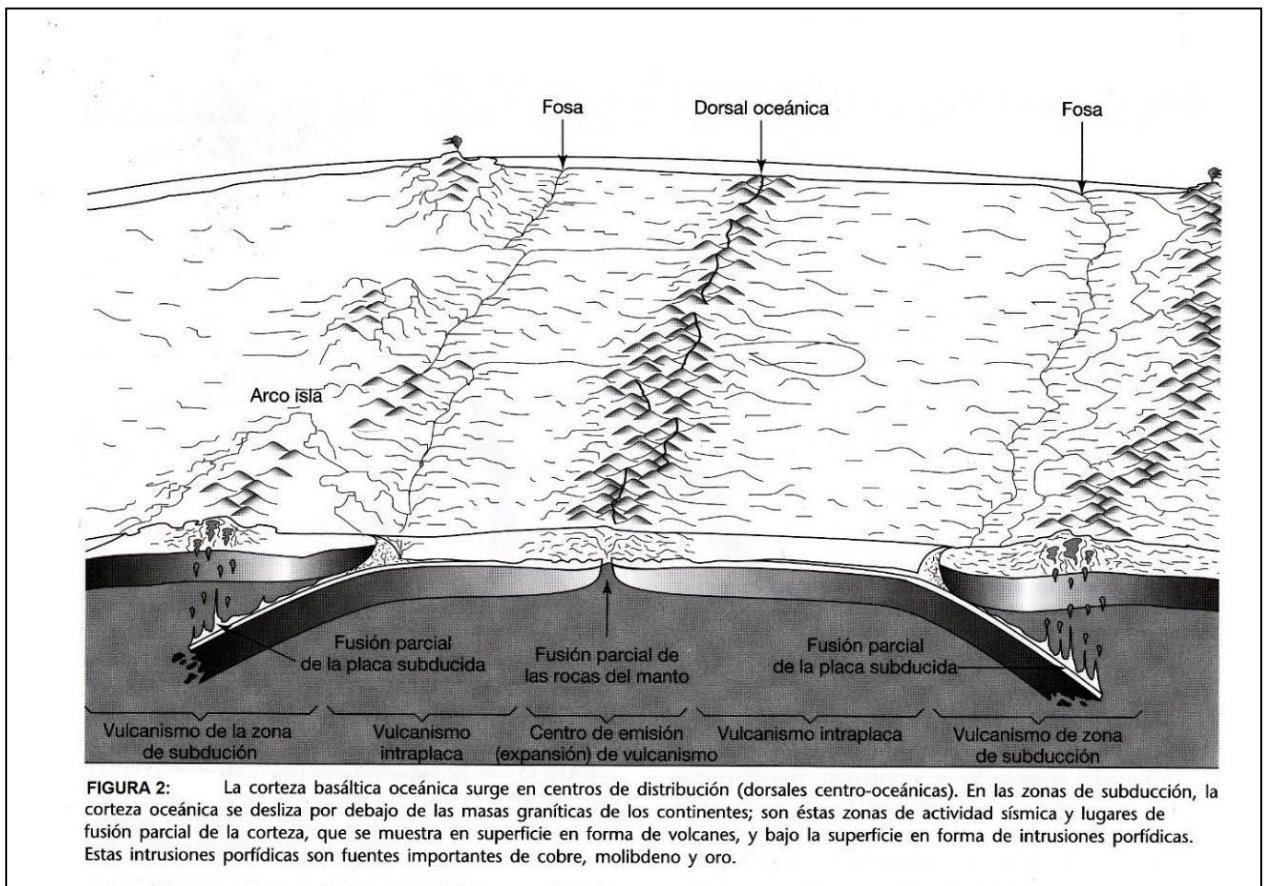


FIGURA 2: La corteza basáltica oceánica surge en centros de distribución (dorsales centro-oceánicas). En las zonas de subducción, la corteza oceánica se desliza por debajo de las masas graníticas de los continentes; son éstas zonas de actividad sísmica y lugares de fusión parcial de la corteza, que se muestra en superficie en forma de volcanes, y bajo la superficie en forma de intrusiones porfídicas. Estas intrusiones porfídicas son fuentes importantes de cobre, molibdeno y oro.

Fuente: [2]

III. LOS RECURSOS MINERALES

La distribución de los recursos de la tierra ha sido controlada por dos condicionantes principales:

- Los procesos de la tectónica global de placas, que establecieron los fenómenos geológicos más importantes (por ejemplo, zonas de subducción) y tipos de rocas (por ejemplo, granitos, basaltos).
- Los procesos locales que dieron como resultado la formación de los yacimientos (por ejemplo, los fluidos producidos por las rocas ígneas; ciénagas locales en las que se acumula la materia orgánica).

Existe una relación entre los recursos y los procesos geológicos locales que les dieron origen. Existen muchas formas de clasificar estos procesos, una sería la siguiente:

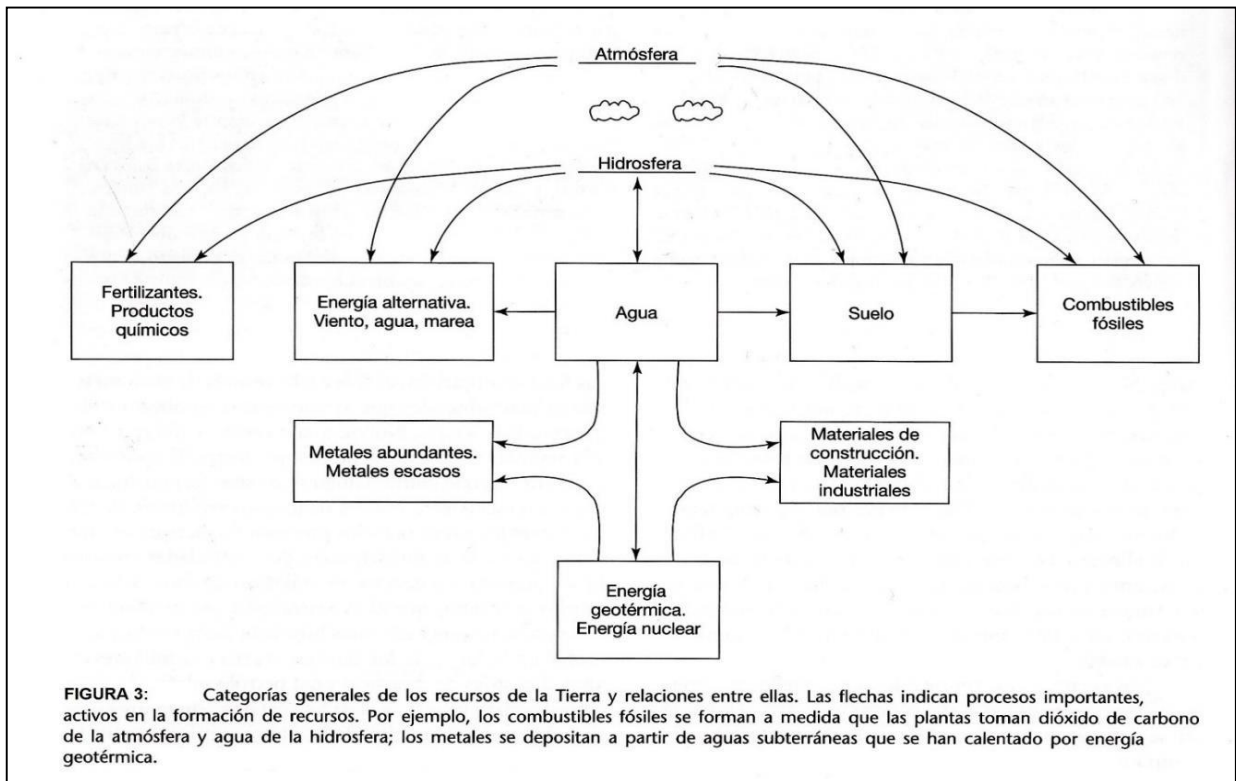
- Procesos ígneos y metamórficos del interior de la tierra (endógenos).
- Procesos que se producen en la superficie terrestre (exógenos).
- Procesos subterráneos o someros y diagenéticos.
- Procesos marinos.

Estas divisiones son de alguna manera arbitrarias y por lo general en la génesis de un recurso tiene lugar más de un proceso.

Los recursos minerales son sustancias naturales, sólidas, homogéneas, inorgánicas u orgánicas, de composición química definida. Existen naturalmente en o sobre la corteza de la Tierra, en tal forma y cantidad que su extracción y su conversión a materiales útiles, son actual

o potencialmente provechosas. Los procesos internos y externos de la Tierra han producido numerosos recursos minerales, que por lo común son en esencia no renovables debido a la lentitud del ciclo de rocas.

Los recursos no renovables comprenden los recursos energéticos, como el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio; los recursos minerales metálicos, como el hierro, el cobre, el aluminio, entre otros, y los recursos minerales no metálicos, como la sal, el yeso, la arcilla, la arena, los fosfatos, el agua, el suelo, y las rocas minerales. (Figura 3).



Fuente: [2]

III.1 Recursos y reservas minerales.

Los términos recurso y reserva suelen causar grandes confusiones, incluso llegan a utilizarse como sinónimos.

Recurso mineral: es la concentración de un material sólido, líquido o gaseoso natural, en la corteza terrestre, en forma tal que puedan ser potencialmente extraídos y procesados de manera económicamente rentable, dados los conocimientos científico-tecnológicos existentes.

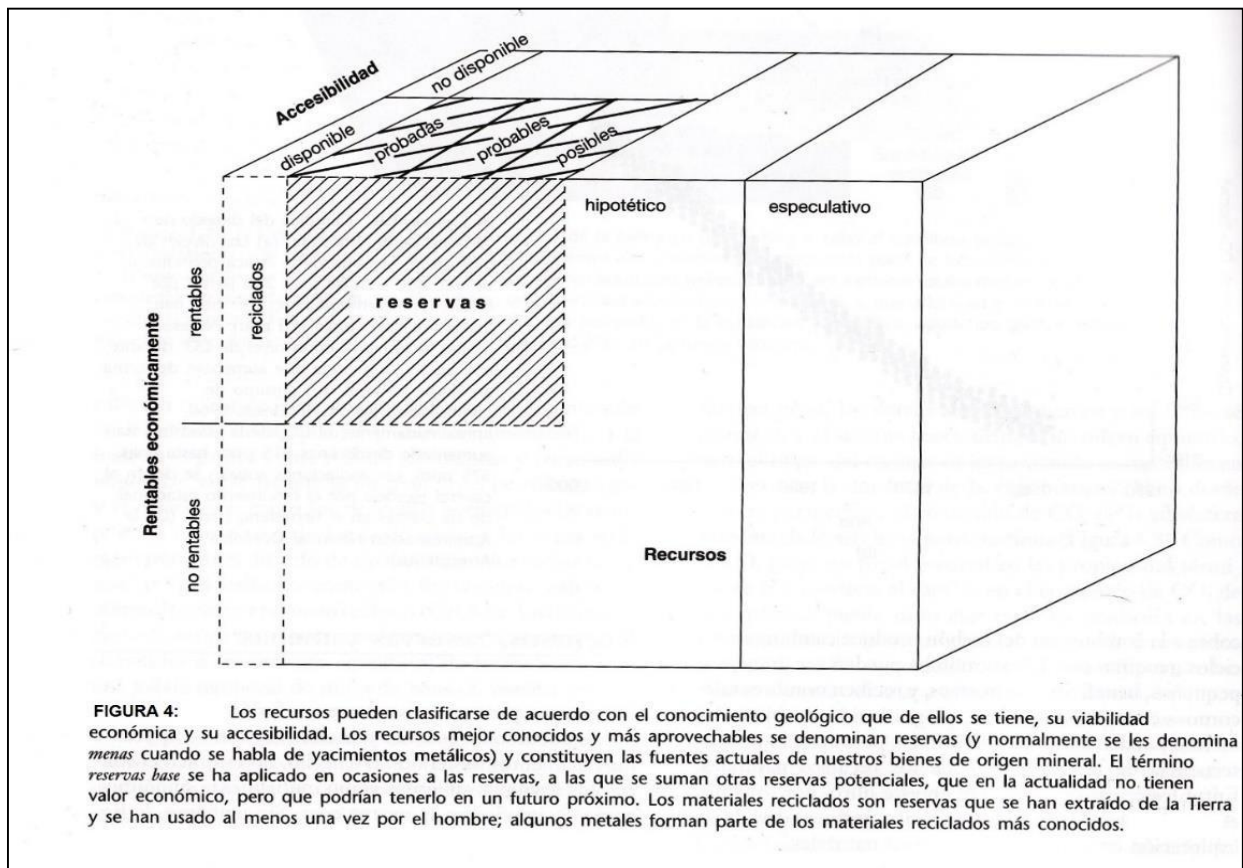
Reserva mineral: es un subconjunto del recurso mineral medido e indicado y que es extraíble de acuerdo a un plan minero sustentable técnica y económicamente, inserto en un escenario productivo

Desde el punto netamente geológico los recursos se subdividen en:

- a) **Recursos identificados:** son depósitos de un material particular que contiene un mineral, y que posee localización, cantidad y calidad que son conocidos o estimados a partir de evidencia geológica directa y de mediciones. De acuerdo al grado de certeza que se tenga los recursos identificados pueden ser:
 - *Probados:* están bien establecidos los volúmenes y tonelajes
 - *Probables:* las estimaciones de volúmenes y tonelajes se basan en datos menos precisos
 - *Posibles:* se asume que el yacimiento se prolonga más allá de las reservas conocidas.
- b) **Recursos No identificados:** son depósitos potenciales de un mineral particular. Se cree que existen bajo la base del conocimiento y la teoría geológica, aunque sus localizaciones específicas, calidad y cantidades son desconocidas.

Las cantidades de reservas en un momento dado son bien conocidas, pero cambian continuamente; disminuyen a medida que avanza la explotación, pero aumentan a medida que se hacen nuevos descubrimientos o que mejora la tecnología. También aumentan cuando se incrementa el valor de mercado del producto mineral, y disminuyen cuando cae este valor.

En el caso de las reservas minerales en forma de combustibles fósiles, una vez que son quemados, desaparecen para siempre. La energía de alta calidad que contienen no puede ser recuperada y reciclada. Las reservas de recursos minerales también son finitos y no renovables en la escala humana del tiempo, sin embargo, los abastecimientos se pueden extender por reciclamiento y reutilización si los elementos o productos que originan no están tan ampliamente dispersos que sea demasiado caro colectarlos.



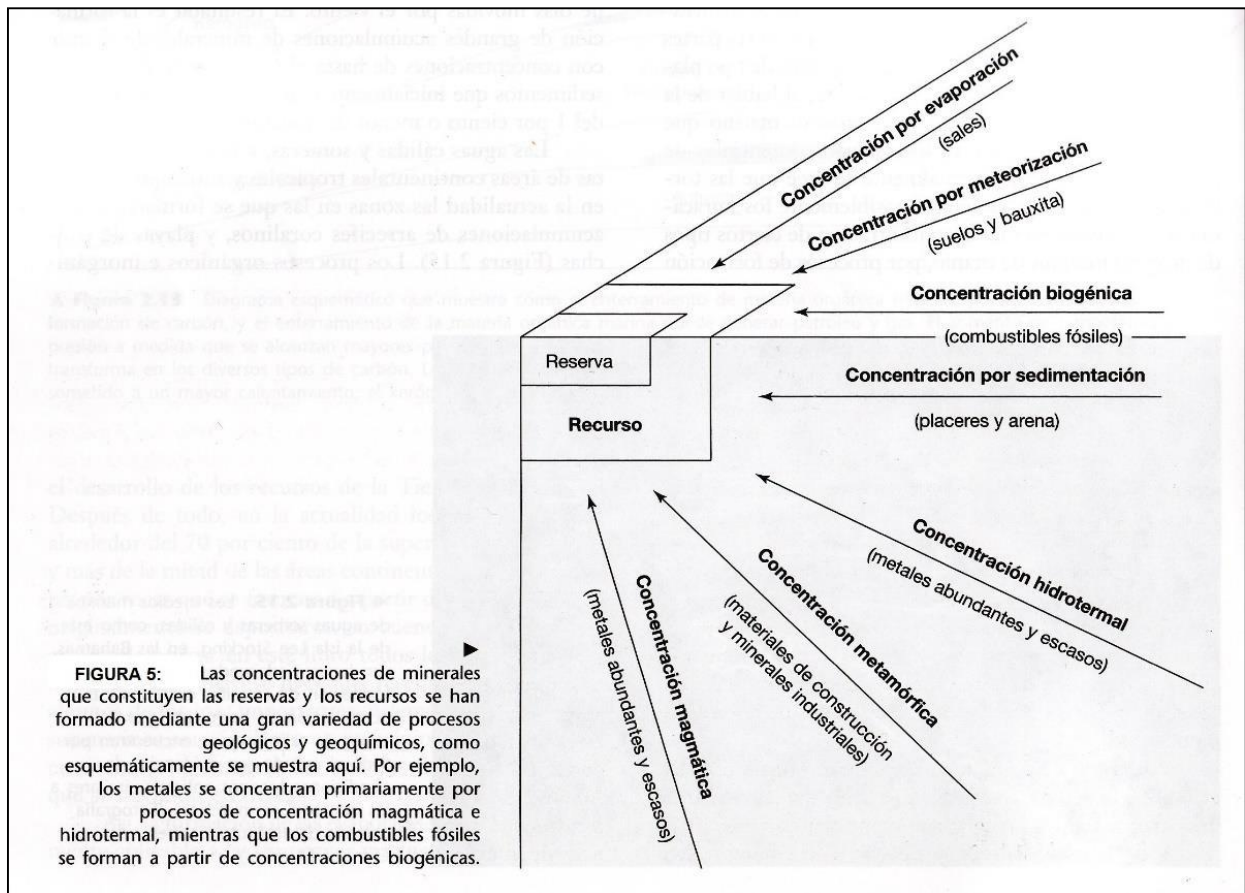
Fuente: [2]

III.2 Formación y concentración de los recursos minerales

La razón por la que algunos elementos parecen más abundantes de lo que realmente son en la corteza terrestre, es que procesos de acción lenta, poco frecuentes o localizados, los concentraron selectivamente. Por ejemplo, el cobre constituye el 0,0058% en masa de la corteza, y su mineral debe contener 0,5% de ese metal, es decir 86 veces (0,5/0,0058) su abundancia media en la corteza. El mineral de aluminio debe tener solamente 3,7 veces la abundancia media en la corteza. El oro en su mineral debe estar concentrado 1.600 veces su promedio en la corteza terrestre, y el mercurio 100.000 veces (Figura 5).

La limitada e irregular concentración de los recursos metálicos no renovables, plantea serias cuestiones acerca de la conveniencia de extraer depósitos concentrados, y luego en desuso, "esparcirlos" sobre los campos en forma de rellenos sanitarios, vertederos de chatarra o de otros modos.

En vez de eso deben considerarse los objetos fuera de uso, elaborados con estos materiales metálicos y no metálicos no renovables, como recursos potenciales que se deben reciclar y reutilizar para reducir el uso de energía, la extracción de minerales vírgenes, la contaminación y el volumen de los desechos.



Fuente: [2]

III.3 Tipos de rocas

Según su origen y formación se pueden distinguir tres tipos principales:

Rocas ígneas: provienen de una masa líquida de magma. Están compuestas en su mayoría por minerales de silicatos.

Rocas sedimentarias: se componen de restos acumulados de otras rocas. Estos fragmentos se agrupan mecánicamente mediante la deposición que inducen el agua, viento o hielo (pizarra y arenisca) También pueden formarse por precipitación química (sal de roca y piedra caliza). El proceso de litificación transforma los sedimentos en rocas duras por medio de la compactación y cementación. Se forman mediante capas o estratificación.

Rocas metamórficas: se llaman así por el “cambio de forma”. La presión, el calor y los fluidos químicamente activos influyen en su transformación. Se forman a partir de las otras rocas ígneas, sedimentarias o las mismas metamórficas.

IV. SUELO

El suelo es el substrato imprescindible de la vida en el medio terrestre. En él se sujetan y de él se nutren las plantas, de cuya producción dependen los demás niveles del ecosistema. Parte fundamental del suelo son las grandes cantidades de hongos, algas, bacterias y minúsculos animales que realizan tareas básicas en el ecosistema, tal como cerrar los ciclos de los elementos o descomponer los restos orgánicos. El suelo es, en sí mismo, un complejo ecosistema.

El suelo es una parte fundamental de los ecosistemas terrestres. Contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan.

IV.1 Origen y formación

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora en sus tres facetas: física, química y

biológica.

La formación de los suelos es consecuencia de un largo proceso en el que interviene el **clima, los seres vivos y la roca** más superficial de la litosfera. Este proceso es una sucesión ecológica en la que va madurando el ecosistema suelo. La roca es meteorizada por los agentes meteorológicos (frío/calor, lluvia, oxidaciones, hidrataciones, ente otras) que la fragmentan. Los fragmentos de roca se entremezclan con restos orgánicos: heces, organismos muertos o en descomposición, fragmentos de vegetales, pequeños organismos que viven en el suelo. Con el paso del tiempo todos estos materiales se van estratificando y terminan por formar lo que llamamos suelo.

Siempre se forman suelos muy parecidos en todo lugar en el que las características de la roca y el clima sean similares. El clima influye más en el resultado final que el tipo de roca y, conforme va avanzando el proceso de formación y el suelo se hace más evolucionado, menos influencia tiene el material original que formaba la roca y más el clima en el que el suelo se forma.

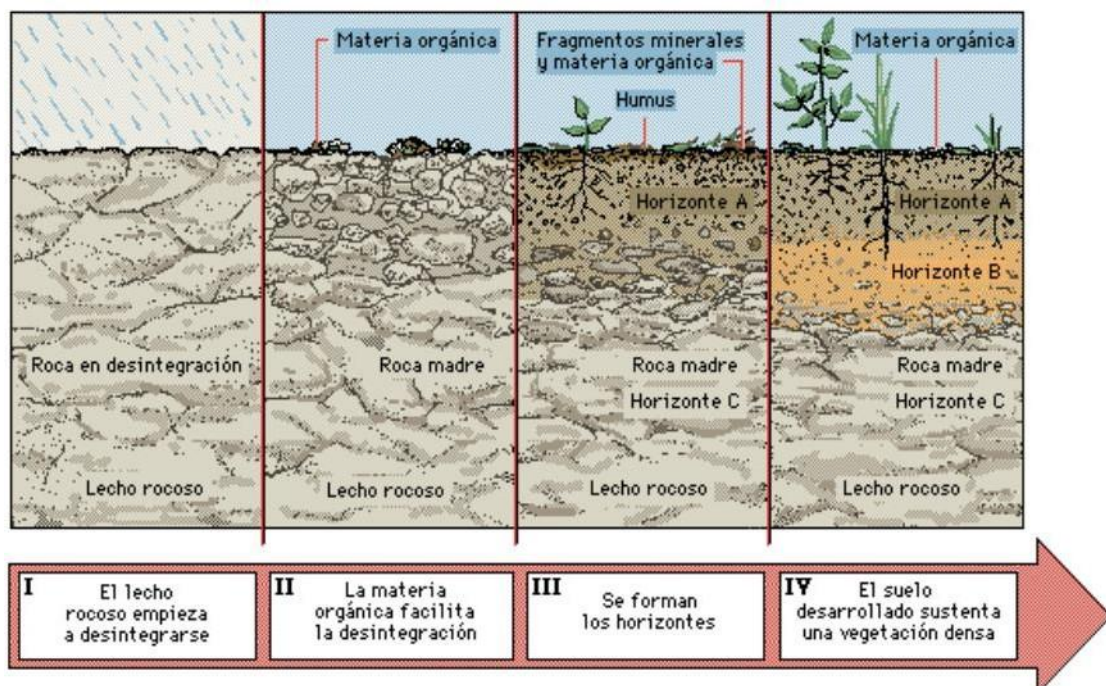
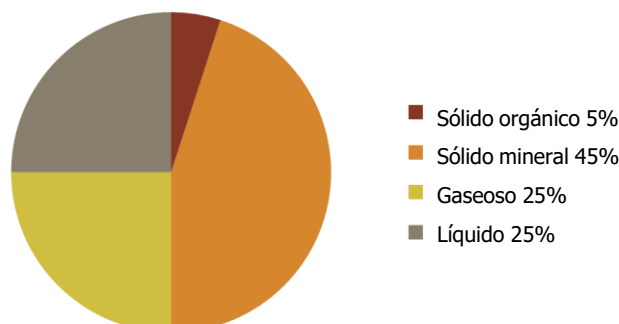


FIGURA 6: Formación de los horizontes de suelo con el pasar del tiempo.

IV.2 Composición

En el suelo encontramos materiales procedentes de la roca madre fuertemente alterados, seres vivos y materiales descompuestos procedentes de ellos, aire y agua (Esquema 1). Las múltiples transformaciones físicas y químicas que el suelo sufre en su proceso de formación llevan a unos mismos productos finales característicos en todo tipo de suelos: arcillas, hidróxidos, ácidos húmicos, etc.; sin que tenga gran influencia el material originario del que el suelo se ha formado.



ESQUEMA 1: Composición general del suelo.

a) Fracción mineral

La fracción mineral del suelo puede presentar distinta granulometría (Tabla 1) y composición.

Tabla 1. Granulometría del suelo

Grava	4 a 64 mm
Arena gruesa	0,2 a 2 mm
Arena fina	0,02 a 0,2 mm
Limo	0,002 a 0,02 mm
Arcilla	< 0,002 mm

Respecto a su naturaleza química, como resultado de los procesos de formación que originan el suelo, la fracción de las arcillas está formada, principalmente, por silicatos con aluminio y hierro (caolinita, montmorillonita) y las arenas son, sobre todo, granos de cuarzo con algunas micas. El pequeño tamaño de los granos de arcilla hace que esta fracción del suelo tenga una gran superficie por unidad de masa (1 g de arcilla suma de 25 a 900 m² de superficie). Esto tiene importantes consecuencias porque facilita fenómenos que necesitan una gran superficie para producirse, como absorciones, algunas reacciones químicas, retención de agua. Otra propiedad característica de la arcilla es que fluye cuando se encuentra sometida a presión por lo que las laderas arcillosas tienen deslizamientos con facilidad.

De acuerdo a su composición, el suelo presenta variabilidad en sus propiedades, por ejemplo, las mencionadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades del suelo según su composición predominante

	Arenoso	Arcilloso	Calizo
Permeabilidad	Alta	Nula	Media
Almacenamiento de agua	Poco	Mucho	Poco
Aireación	Buena	Mala	Buena
Nutrientes	Pocos	Muchos	Mucho calcio

b) Fracción orgánica

En todo suelo hay materia orgánica, llamada humus. En un suelo del desierto puede estar en una proporción del 1%, mientras que en la turba la proporción llega al 100%. Una cifra media común a bastantes suelos sería la de un 5% (2% de carbono). El humus se encuentra, en su mayor parte, adherido a la arcilla.

Esta fracción está formada por restos de organismos muertos, excreciones, y otros componentes tan profundamente transformados que ya no puede advertirse normalmente su estructura original.

Su composición química es muy variada, pero como conforme pasa el tiempo los productos orgánicos, que son más fácilmente degradables van desapareciendo, al final van quedando en mucha más proporción las moléculas orgánicas con enlaces resistentes a la degradación biológica (Ej. moléculas aromáticas con abundancia de ciclos y anillos, fenoles, funciones ácidas).

El proceso de formación del suelo termina por estructurar a los materiales en unos estratos o capas característicos a los que se denomina horizontes. El conjunto de estos horizontes da a cada tipo de suelo un perfil característico. Tradicionalmente estos horizontes se nombran con las letras A, B y C, con distintas subdivisiones: A0, A1, y otras. (Figura 7).

Sus características son:

- El horizonte A0 es el más superficial y en él se acumulan hojas, restos de plantas muertas, de animales.
- El horizonte A acumula el humus por lo que su color es muy oscuro. El agua de

lluvia lo atraviesa, disolviendo y arrastrando hacia abajo iones y otras moléculas. A esta acción se le llama lavado del suelo y es mayor cuando la pluviosidad es alta y la capacidad de retención de iones del suelo es baja (suelos poco arcillosos). En los climas áridos el lavado puede ser ascendente, cuando la evaporación retira agua de la parte alta del suelo, lo que provoca la llegada de sales a la superficie (salinización del suelo).

- El horizonte B acumula los materiales que proceden del A.
- El horizonte C está formado por la roca madre más o menos disgregada.

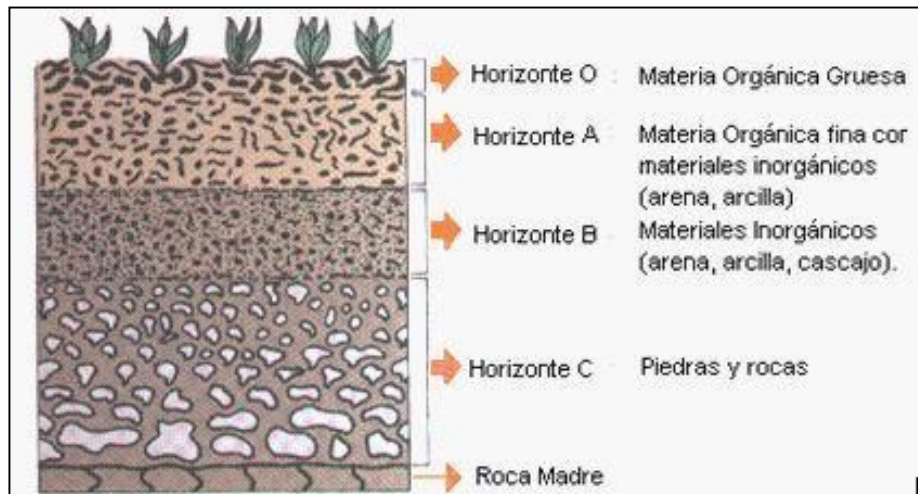


FIGURA 7: Horizontes de suelo

IV.3 Tipos de suelos

En los suelos más simples, como pueden ser los de la alta montaña, las zonas árticas o los desiertos, sólo hay horizonte C. Otros suelos tienen horizontes A y C pero no B; y por último, están los que poseen los tres horizontes bien caracterizados.

IV.4 Organismos vivos en el suelo

En el suelo viven una gran cantidad de bacterias y hongos, tantos que su biomasa supera, normalmente, a todos los animales que viven sobre el suelo.

En la zona más superficial, iluminada, viven también algas, sobre todo diatomeas. También se encuentran pequeños animales como ácaros, colémbolos, cochinillas, larvas de insectos, lombrices, etc.

Las lombrices tienen un especial interés. Son, dentro de la fauna, las de mayor presencia de biomasa y cumplen un importante papel estructural, pues sus galerías facilitan el crecimiento de las raíces y sus heces retienen agua y contienen importantes nutrientes para las plantas (Figura 8).



FIGURA 8: Organismos que pueden encontrarse en los suelos

V. DEGRADACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL SUELO

De la naturaleza se obtienen los alimentos y a la naturaleza se devuelven los residuos que generamos con nuestra actividad. La energía que empleamos la obtenemos, en su mayoría, de la combustión de reservas de compuestos de carbono (petróleo, carbón, gas) almacenados por el trabajo de los productores del ecosistema a lo largo de muchos millones de años. Dado el número de individuos y la capacidad de acción que se tiene en estos momentos la influencia que se ejerce sobre estos recursos y sobre el suelo es enorme.

La degradación del suelo es la pérdida de su productividad y utilidad actual o potencial, que implica el desmejoramiento del suelo en su capacidad inherente para producir bienes y servicios y para realizar sus funciones de regulación ambiental.

En lo que sigue se mencionan las causas de degradación del suelo, y es de destacar que muchas de ellas muestran relación y causalidad entre las mismas.

V.1 Urbanización y crecimiento urbano

Las condiciones económicas, ambientales y sociales son afectadas no sólo por el crecimiento de la población y la estructura de edad, sino también por la forma en que está distribuida la población geográficamente en áreas rurales y urbanas. El suministro de recursos para sustentar las áreas urbanas es una causa principal de la degradación de bosques, tierras de cultivos, pastizales, cuencas y otras áreas no urbanas. Las áreas urbanas también concentran contaminantes, algunos de los cuales son transportados por el viento y el agua a las zonas rurales y a otras áreas urbanas.

La urbanización de un país está dada por el porcentaje de su población que vive en un área urbana. El crecimiento urbano es la tasa de aumento de las poblaciones urbanas. Las mismas crecen de dos maneras: por crecimiento natural (más nacimientos que decesos) y por inmigración (especialmente desde las áreas rurales). Generalmente, el desarrollo económico tiende a atraer gente que busca trabajo y una vida mejor en las áreas urbanas.

Las personas son atraídas hacia las áreas urbanas principalmente en busca de trabajo y una vida mejor, pero otros factores son que la agricultura moderna mecanizada disminuye la necesidad de la labranza tradicional y permite a los propietarios de grandes extensiones de tierra comprar a los agricultores de subsistencia de pequeña escala que no pueden tener medios para modernizarse: sin trabajo y sin tierra estas personas se ven forzadas a irse a las ciudades.

Un factor que viene cobrando especial importancia en los últimos años, lo constituye el

avance de la urbanización sobre tierras agrícolas (en secano y oasis de riego) que por la falta de planificación está generando serios problemas de degradación de los recursos naturales y de contaminación ambiental, además de la pérdida del recurso productivo.

V.2 Agricultura y ganadería

Cuando se cultivan los campos, se talan los bosques, se pesca o se cría ganado, se "explota" al resto de la naturaleza y se provoca su "regresión" en el sentido ecológico; es decir, el ecosistema se rejuvenece y deja de seguir el proceso de sucesión natural.

Los ecosistemas tienden naturalmente al incremento de estructura y complejidad, disminuyendo su producción neta cuando están maduros. El hombre, por el contrario, intenta obtener el máximo rendimiento del ecosistema, por lo que le interesa mantenerlo en etapas juveniles en las que la productividad neta es mayor. En las actividades agrícolas y ganaderas se retira biomasa de los ecosistemas explotados y se favorece a las especies oportunistas (frecuentemente monocultivos), lo que disminuye la diversidad de especies del primitivo ecosistema. También se disminuye la diversidad eliminando otros animales competidores (roedores, lobos, aves, entre otros) mediante actividades como la caza y el uso de venenos.

El trabajo agrícola afecta también al ecosistema suelo. Al arar, por ejemplo, se mezclan los horizontes del suelo y se rompe la estructura para liberar nutrientes que puedan usar las plantas. Por otra parte, al recoger la cosecha no se devuelve al suelo los nutrientes y hay que abonar para obtener nuevas cosechas. La agricultura moderna consume combustibles fósiles (petróleo) a cambio de alimentos, pues hay que usar gran cantidad de energía para fabricar fertilizantes y pesticidas, trabajar la tierra, sembrarla, recoger la cosecha, y otras actividades agrícolas.

La mayoría de las mejores tierras agrícolas del mundo ya han sido objeto de explotación. El suministro de alimentos para una población doble de la actual exigirá el uso de tierras de productividad marginal, más fertilizantes, un aumento del riego y más cosechas de ingeniería genética. Al mismo tiempo, existe una gran preocupación sobre la pérdida de suelo por erosión; en muchos lugares, la pérdida de suelo agrícola se debe a otros factores, tales como la construcción de carreteras, edificios, parcelaciones y grandes superficies. El que las tierras de cultivo suministren alimento suficiente para la creciente población mundial y resuelvan las necesidades cada vez mayores de una población en expansión puede llegar a ser el mayor desafío del siglo XXI.

V.3 Obtención de energía y materias primas.

La explotación del petróleo y del gas, la minería del carbón y del resto de minerales y el transporte de materias primas y productos terminados suponen, también, un fuerte impacto sobre los ecosistemas. Suponen la construcción de carreteras, grandes movimientos de tierra, sobre todo en minería a cielo abierto, concentración y producción de sustancias tóxicas.

V.4 Generación de residuos

El hombre siempre ha confiado en los sistemas naturales para absorber el impacto de sus residuos y los ha vertido al aire, ríos, mares y al suelo. La capacidad de la naturaleza para reciclar los materiales, diluir los tóxicos y limpiar el aire y el agua es muy grande, pero la generación de residuos sólidos urbanos e industriales genera tanta variedad y cantidad de contaminación que sobrepasa la capacidad equilibradora y depuradora de los sistemas (suelo, agua, atmósfera).

El vertido de residuos es otra fuente de impacto sobre la naturaleza que puede causar graves daños a los seres vivos. Hablamos de contaminación para referirnos a estos cambios de las condiciones del ecosistema.

Los miles de nuevos productos químicos sintetizados en los últimos decenios tienen especial interés, porque al ser muchos de ellos moléculas que no existían antes son, en ocasiones, difíciles de metabolizar y reciclar por la naturaleza.

El apartado VI de este documento se referirá más detalladamente a los residuos sólidos urbanos.

V.5 Actividad Industrial

La contaminación del suelo por actividad industrial dependerá del tipo de industria de que se trate y sus sistemas de gestión ambiental.

La actividad industrial es la principal causa de la contaminación de suelos por: vertido de residuos sin un control adecuado, fugas de depósitos y tuberías enterradas, prácticas de operaciones industriales (almacenamiento de productos, de materias primas, manipulación de materias auxiliares, etc.). A modo de ejemplo en la Tabla 3, se indican algunos contaminantes.

Debido a la actividad industrial se generan residuos sólidos que han de recogerse o depositarse en recipientes adecuados por estar preceptivamente prohibido su vertido en las redes de alcantarillado público, en el suelo, en el subsuelo o en los cauces públicos. Estos residuos son los aceites, los disolventes químicos, las sustancias orgánicas deconserveras y los productos químicos propios de efluentes industriales, entre otros.

Tabla 3. Contaminantes por actividad industrial

Tipo de industria	Contaminantes del suelo
Asfalto/alquitrán	Fenoles, aceites minerales, PAHs, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno)
Chatarrerías	Plomo, cobre, níquel, cadmio, aceites minerales
Fundiciones, acerías	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, Mo, cianuros, sulfuros, aceites, fenoles, BTEX, disolventes clorados
Industria de la madera	Cr, Cu, Ni, Fluoruros, aceites minerales, creosotas, plaguicidas, fenoles
Pinturas/ Lacas	Disolventes, As, Cr, Cd, Co, Mo, Pb, Se, Zn, estaño, plata, fosfato, sulfuros cianuros fluoruros

V.6 Desertificación

Desertificación es un término utilizado, en general, para describir la transformación de una tierra agrícola productiva en un desierto. Particularmente, en los últimos años se la ha asociado a la degradación del suelo en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas ocasionada por distintos factores, como las variaciones climáticas y las actividades humanas. Aunque las prolongadas sequías son la causa más evidente de la desertificación, estudios recientes muestran que el ser humano es también responsable. La desertificación puede haber sido causada por el sobrepastoreo, por la tala intensiva de madera, el abuso de la tierra, la mala administración del suelo y del agua y, en general, por la alteración del paisaje. En cuanto a su extensión, la desertificación puede ser ligera a severa y conduce al descenso de la producción de la tierra y a la degradación del medioambiente.

En Argentina, las regiones áridas y semiáridas del país cubren el 75 % del territorio con ecosistemas frágiles proclives a la desertificación. Estas regiones, que abarcan el NO, centro – O y S de nuestro territorio, poseen un 10 % de su superficie afectada con un grado de desertificación muy grave y un 60 % con un grado de moderado a grave. (<https://fecic.org.ar/biblioteca-virtual>).

En la provincia de Mendoza las modalidades de la expansión urbana tienen marcados efectos en la maximización de los riesgos aluvionales y de desertificación.

V.7 Pérdida de biomasa

La biomasa se refiere a la cantidad total de materia orgánica viva en un ecosistema. En los bosques tropicales, la biomasa se compone principalmente de árboles, pero también incluye

plantas, animales, hongos y microorganismos. La pérdida de biomasa implica una reducción en la cantidad de materia orgánica viva en un ecosistema, lo que puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente y el clima.

Las causas más importantes de la pérdida de biomasa son la deforestación de bosques tropicales y los incendios forestales. Cuando el suelo es desprovisto de árboles y otras coberturas para llevar a cabo cultivos agrícolas, luego hay un exceso de plantación y sobreexplotación agrícola. En general no se tienen en cuenta prácticas adecuadas de fertilización, irrigación y rotación de cosechas; además de todo eso, se venden propiedades con suelo agrícola para desarrollar los núcleos urbanos.

También la pérdida de biomasa se relaciona con la erosión, pues la pérdida de árboles reduce la protección del suelo contra la misma, lo que puede llevar a la degradación de los suelos y la pérdida de fertilidad.

V.8 Erosión

La erosión es un proceso en que se va perdiendo la capa superficial del suelo, que proporciona a las plantas la mayoría de los nutrientes y el agua que necesitan. Cuando esta capa fértil se desplaza, la productividad de la tierra disminuye y los agricultores pierden un recurso vital para el cultivo de alimentos.

Puede tener varias causas. Los factores causales de los procesos erosivos de origen natural son a) los vientos fuertes y b) las lluvias intensas, c) hielo (en forma de glaciación). En tanto, los de origen antrópico pueden deberse a: c) simplificación de la rotación de cultivos y monocultivo; d) desmonte y expansión de la frontera agrícola; e) sobrepastoreo; f) cambio de uso del suelo. En un segundo grupo, pero también de importancia para varias regiones se consignan g) los incendios de bosques y pastizales, h) las labranzas inadecuadas, i) la escasa adopción de tecnología conservacionista, y j) la actividad petrolera y minera en general, estas últimas debida principalmente al efecto negativo sobre la cobertura del suelo de caminos y picadas, locaciones petroleras, ductos y residuos contaminantes propios de la actividad. Los incendios han cobrado una gran significancia en los últimos años como factor de reducción de la cobertura del suelo y activador de los procesos erosivos (Casas, 2015).

Por ejemplo, en la Región NEA (Noreste de Argentina), en la provincia de Misiones, en bosques de ambientes cálidos y húmedos, debido al desmonte y al cambio de uso y frente a condiciones de lluvias intensas y relieves de pendientes acentuadas, aumenta el riesgo de erosión hídrica. En la provincia de Corrientes hay zonas de erosión hídrica y de eólica. Los procesos erosivos en la provincia de Formosa tienen su origen más importante en la explotación forestal, el desmonte y el sobrepastoreo. En la provincia del Chaco, la erosión hídrica afecta la mayor superficie de la provincia teniendo causas de origen natural y/o antrópico.

Existen métodos para medir la erosión del suelo, por ejemplo, para la erosión hídrica se determina la pérdida de suelo mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos de Wischmeier y Smith (1978): La expresión más conocida de esta ecuación, es:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$$

Donde:

- A es la pérdida de suelo por unidad de superficie (tn/ha.año),*
- R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h),*
- K es el factor erodabilidad del suelo (tn.ha.h/ha.MJ.mm),*
- L es el factor longitud de pendiente (adimensional),*
- S es la pendiente (adimensional),*
- C es el factor cultivo y/o ordenación y*
- P es el factor prácticas de cultivo.*

VI. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Hasta épocas recientes no ha habido una conciencia clara sobre el problema que se genera en el proceso de transformación de las materias primas en un producto de consumo y la consiguiente etapa final de transformación de producto en residuo, una vez finalizada su vida útil. Desde este enfoque, los residuos pueden considerarse como subproductos "sin valor" de la actividad humana. Físicamente contienen los mismos materiales del producto del cual

proviene, y en muchos casos la desvalorización está relacionada a la composición mixta y desconocida de los residuos.

El concepto de residuo se refiere a toda sustancia u objeto generado por una actividad humana productiva o de consumo, que no resulta útil para su poseedor y por la cual tenga la intención, o bien la obligación de desprenderse (Elías Ed., 2009a).

Los sistemas practicados anteriormente: dejarlos a cielo abierto y quemarlos, enterrarlos o verterlos al mar, río o lago, ya no son admisibles. Hoy el problema de la recogida y eliminación de los residuos sólidos urbanos, no solo representa mayor costo para la sociedad, sino que constituye una de las formas de deterioro del medio ambiente. Se plantean entonces los siguientes interrogantes:

- . Como prevenir la generación de residuos
- Cómo recoger los residuos
- Cómo tratarlos
- Dónde y cómo depositarlos o eliminarlos.

En general, analizados los factores que han incrementado de manera alarmante el problema de los residuos sólidos urbanos, se pueden señalar cuatro causas principales.

- El rápido crecimiento demográfico
- La concentración de la población en los centros urbanos
- La utilización de bienes materiales de rápido envejecimiento y deterioro
- El uso cada vez más generalizado de envases sin retorno.

Los problemas que podríamos llamar directos, originados por los residuos sólidos urbanos cuya gestión no es correcta son los siguientes:

- La presencia de residuos abandonados en las carreteras, parques, calles, terrenos, deterioran el paisaje y contaminan el suelo.
- Los depósitos incontrolados de residuos urbanos, debido a su gran contenido de materia orgánica putrescible, producen al fermentar olores muy molestos.
- Los residuos fermentables son fácilmente autoinflamables, y suelen producir incendios que provocan humos malolientes, opacos y nocivos. Estos incendios donde la combustión es incompleta, ocasionan una contaminación atmosférica muy desagradable para la vecindad y en ocasiones peligrosas para la circulación.
- Los vertidos de residuos en terreno sin ningún tipo de control presentan un grave riesgo de contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, con el consiguiente peligro para la salud si son utilizadas para el abastecimiento de agua potable a la población.
- Los residuos orgánicos favorecen la existencia de gran cantidad de roedores, insectos y otros vectores, que son agentes portadores de enfermedades y algunas contaminaciones bacterianas.

VI.1 Clasificación de residuos sólidos urbanos

Considerando los distintos **orígenes de generación** dentro del núcleo urbano, los residuos presentan características diferentes y se puede agrupar de la siguiente manera:

Residuos domiciliarios: Proceden de las distintas actividades diarias de la comunidad. Se presentan en dimensiones manejables y generalmente en recipientes más o menos normalizados (bolsas, contenedores).

Residuos voluminosos: Son materiales de desecho de origen domésticos que por su forma, tamaño, volumen o peso son difíciles de ser recogidos y/o transportados por los servicios de recogida convencionales. Tal es el caso de electrodomésticos, muebles, colchones.

Residuos comerciales: Están constituidos por los residuos de la actividad de los diferentes circuitos de distribución de bienes y consumo. Son esencialmente embalajes, residuos orgánicos de mercados, y todo aquel derivado del sector servicios.

Residuos de construcción y demolición (RCD): Proceden de obras de construcción, reparación o demolición de pequeñas obras.

Residuos de limpieza de calles y áreas verdes. Son los residuos de poda y limpieza viaria.

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): aparatos eléctricos y electrónicos, sus materiales, componentes, consumibles y subconjuntos que forman parte de los mismos, que su poseedor deseché o tenga la obligación legal de hacerlo.

Neumáticos fuera de uso (NFU): son aquellos neumáticos que se han convertido en residuos, es decir, que su poseedor haya desechado o tenga la intención u obligación de desecharlo.

Residuos patogénicos: Son los derivados de actividades sanitarias procedentes de hospitales, clínicas, ambulatorios, laboratorios de análisis clínicos, laboratorios de investigaciones biológicas y establecimientos similares.

Considerando **su naturaleza** los residuos sólidos se clasifican en inertes, no peligrosos y peligrosos o especiales. A continuación, se define cada tipología:

Inertes: son residuos no-peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas; no son solubles ni combustibles, no reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no son biodegradables, no afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana.

No especiales o reciclables: estos residuos tienen la característica de no-peligrosos. En esta clasificación se encuadran en general los residuos domiciliarios. La mayoría de estos materiales poseen altas posibilidades de reciclaje, actividad que se lleva a cabo en instalaciones industriales.

Especiales o peligrosos: son los RCD que tienen características que los hacen potencialmente peligrosos, tales como sustancias inflamables, tóxicas, corrosivas, irritantes, cancerígenas

VI.2 Cantidad

La cantidad de residuos domiciliarios producidos por una comunidad es muy variable y depende de gran número de parámetros. Es fundamental obtener datos de generación para planificar la gestión de los residuos. Depende fundamentalmente:

- Del nivel de vida de la población. Crece con éste en una proporción muy importante.
- De la época del año. Para igual número de habitantes generalmente es menor en verano.
- Del modo de vida de la población. Está influenciada por la migración diaria entre el centro de la ciudad y la periferia.
- Del movimiento de la población durante los períodos de vacaciones, los fines de semana y los días de fiesta.
- Del clima.
- De los nuevos métodos de acondicionamiento de mercancía con la tendencia actual de utilizar envases y embalajes sin retorno.

El conocimiento de la cantidad total de residuos recogidos en un núcleo urbano se obtiene a través de pesada y, de los datos existentes.

Podemos decir, a título informativo, que en algunas ciudades los índices de producción por habitantes son los siguientes:

En zonas rurales.....	190 a 300 kg/hab./año
Equivalente a.....	0,55 a 0,82 kg/hab./día
En zonas urbanas.....	295 a 400 kg/hab./año
Equivalente a.....	0,80 a 1,10 kg/hab./día

VI.3 Composición

El conocimiento de la composición de los residuos domiciliarios tiene "gran importancia

para la toma de decisiones en la elección de los sistemas de tratamiento”.

Lo mismo que en la producción, numerosos factores influyen sobre la composición y las características de los residuos urbanos.

Las características de la población. Zonas rurales o núcleos urbanos, áreas residenciales o zonas de servicios, etc.

El clima y la estación. Los residuos recogidos en verano presentan un mayor contenido de restos de frutas y verduras.

El modo y nivel de vida de la población. El consumo de productos alimenticios ya preparados hace que aumente el contenido de envases y embalajes de todo tipo, vidrio, plástico, aluminio, papeles y cartones, pero por otra parte se produce una disminución de restos de vegetales, carnes y grasas; los jardines de las viviendas individuales.

Los residuos sólidos domiciliarios están constituidos por un conjunto de materiales muy heterogéneos (Ver Tabla 4). Por ello se plantea la necesidad de reagrupar sus distintos componentes en categorías de cierta homogeneidad, cuyo número variará evidentemente según los objetivos que cada clasificación persiga.

Una agrupación posible es dividirlos en SECOS y HÚMEDOS.

- Residuos secos: vidrios, bolsas y films plásticos, envases de tetra-brick, telas, latas, botellas, envases, plásticos, metales, poliestireno expandido, papeles y cartones, vacíos, limpios y secos.
- Residuos húmedos: materiales susceptibles de ser compostados, es decir los resultantes de la elaboración de comidas, restos vegetales y animales.

Se observa un incremento de plásticos y vidrio, generalmente en forma de envase sin retorno o de un solo uso. También puede darse una disminución de aluminio, papeles y cartones, sobre todo en épocas de crisis económica, ya que una vez que los residuos son depositadas en los contenedores, recuperadores urbanos realizan una selección de estos materiales que tienen un determinado valor económico en el mercado de los productos recuperados.

Tabla 4. Composición ejemplo de residuos domiciliarios

	FRACCIÓN	%
1	Orgánicos	58%
2	Metales	1.6%
3	Plásticos	12%
4	Pañales	13%
5	Tapos	1.4%
6	Vidrios	4%
7	Cartón y Papel	5%
8	Otros	5%
Total		100%

VI.4 Características

Existen cuatro características de los residuos sólidos cuyo estudio resulta básico a la hora de tomar decisiones para establecer el sistema de tratamiento o eliminación más adecuado. Estas son:

- La densidad.
- El grado de humedad.
- El poder calorífico.
- La relación carbono-nitrógeno.

La **densidad**, debido al carácter heterogéneo de los distintos componentes de los residuos, puede variar entre 110 y 200 kg/m³.

En general, se acepta que la densidad es siempre menor en los barrios céntricos, donde oficinas y comercios alternan con viviendas, mientras que crece en las zonas periféricas donde

predominan las viviendas.

La **humedad** de los residuos sólidos es otra de las características importantes. Tiene una gran influencia sobre su poder calorífico, así como en la transformación biológica de las materias fermentables. Son muy variables los factores que inciden en el porcentaje de agua contenida en los residuos:

- Contenido de orgánicos.
- Climatología de la región.
- Procedencia.

Los ensayos efectuados sobre muestras de residuos, sin compactar, indican que la humedad oscila entre 40 y 60% en peso. Esta variación depende principalmente del contenido en orgánicos fermentables siendo así máxima la humedad en los residuos procedentes de mercados (70-80%) y mínima en los procedentes de áreas comerciales (10-20%).

Otro parámetro importante, que nos ha de servir para la toma de decisiones al tratar los residuos por incineración es, el **poder calorífico inferior** (PCI) de los residuos sólidos. En el caso de los residuos domiciliarios, debido a su heterogeneidad, el poder calorífico inferior, tiene sensibles variaciones, por lo que sólo tiene sentido hablar de un valor medio que oscila entre 800 y 1.600 kcal/kg. El PCI tiende a aumentar cuando hay incremento en el contenido de papel, cartón y plásticos, pues el poder calorífico de estos materiales es muy elevado, mientras que disminuye cuando es alto el contenido de materia orgánica y por lo tanto de humedad.

La **relación carbono-nitrógeno** es un índice de gran importancia en los procesos de compostaje e indica la capacidad mineralizadora del nitrógeno. El intervalo óptimo para los procesos de transformación biológica se estima entre los 20 y 35, pues para valores inferiores, la pérdida de nitrógeno en forma de amonio gaseoso es tan elevada que el compostaje de esta materia orgánica carece de interés.

VII. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

A través de los años, el desarrollo de la sociedad y la industria, junto con la creciente toma de conciencia de los problemas medioambientales, ha llevado a la aplicación de métodos tecnológicos cada vez más sofisticados y seguros para el manejo de residuos.

Entre los años 1970 y 1990 se concretan tecnologías de eliminación con discusiones muchas veces irracionales y en términos extremos acerca de su conveniencia sin ninguna referencia al contexto específico. Por ejemplo, quienes estaban a favor de la incineración eran contrarios a los vertederos y la recuperación, mientras que las personas que apoyaban el vertido difamaban los otros métodos, y así sucesivamente.

Desde el punto de vista ambiental, la gestión actual de residuos sólidos debe cumplir numerosos requisitos que se derivan de una mayor conciencia y percepción de los problemas ambientales por parte del público, y de los avances científicos centrados en dar solución a problemas como limitación de recursos, cambio climático, contaminación, crecimiento demográfico, agotamiento de las fuentes de energía no renovables, etc. Así, desde este planteamiento, la gestión de residuos debe incorporar los siguientes requerimientos (Cossu, 2009):

- disminución de la producción de residuos
- garantía de un servicio eficiente de recolección y disposición
- optimización de la recuperación de materiales
- énfasis en el cambio climático y la minimización de los gases efecto invernadero
- reducción de los volúmenes de residuos destinados a los vertederos
- optimización del balance de energía con el uso de energía procedente de residuos
- reducción de las emisiones, monitoreo de efectos toxicológicos y minimización de riesgos para la salud.

VII.1 Jerarquía de gestión de los residuos

Una forma de planificar estrategias de gestión de residuos, anterior al enfoque integral, lo

constituye la implementación de la “jerarquía de residuos”. La misma establece en general un orden de prioridad de lo que constituye la mejor opción global para el medio ambiente en la legislación y la política en materia de residuos. La jerarquía de opciones de manejo de residuos, en orden descendente de preferencia, se define según la Directiva 2008/98/EC (2008), y se ilustra en la Figura 10.



FIGURA 10. Jerarquía de la gestión de residuos

VII.2 Fases de un sistema de gestión

Se entiende por gestión de residuos sólidos urbanos el conjunto de operaciones encaminadas a dar, a los residuos producidos en una zona, el destino global más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, coste del tratamiento, posibilidades de recuperación y de comercialización y directrices administrativas en este campo.

Se denomina 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 (Ley Nacional N° 25916/2004).

La gestión de los residuos comprende las fases de recogida, transporte, tratamiento y disposición final. En lo que sigue se describirán estas etapas y algunas alternativas de tratamiento, así como su vinculación al resto de las etapas de gestión.

Recogida y transporte

La recogida de los residuos puede hacerse en forma mixta (todo junto) o separada por fracciones. La primera consiste en la separación de los componentes presentes en los residuos, para su recuperación directa, dando así origen a lo que se conoce como “recogida selectiva”. Para la efectividad de este sistema se necesita, por un lado, la participación ciudadana al tener que depositar en recipientes distintos los diferentes componentes de los residuos que intentan recuperarse (habitualmente se usan tres recipientes, uno para el vidrio, otro para los papeles y un tercero para el resto de los residuos), y por otro lado la recogida de dichos componentes ha de realizarse por separado bien en vehículos distintos o en vehículos especiales compartimentados. La Figura 11 muestra contenedores de recogida selectiva. En este caso los residuos se transportan también por separado y se llevan hacia las diferentes plantas de tratamiento.

En la segunda forma de recolección mixta, los residuos se transportan a plantas de tratamiento, y pueden o no, ser separados en planta de clasificación.



FIGURA 11. Contenedores de recogida selectiva

Tratamientos

Se entiende por tratamiento de residuos el conjunto de operaciones o procesos encaminados a su eliminación o al aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos. Los sistemas actualmente más utilizados son:

➤ **Clasificación**

La segunda forma de efectuar la separación de materiales es partiendo de los residuos brutos, o sea efectuando un tratamiento global de los residuos sólido urbanos mediante técnicas comunes de selección manual una vez rota la bolsa que los contiene o bien técnicas comunes a la industria minera y metalúrgica, tales como la trituración, cribado y clasificación neumática para lo concerniente a la preparación del residuo y separación de fracciones ligeras y sistemas de clasificación por vía húmeda electromagnética, electrostáticos y ópticos. **La Figura 12** muestra una cabina de separación manual de residuos.



FIGURA 12: Cabina de separación manual de RSU

Teniendo en cuenta la composición media de los residuos se puede afirmar que hay un porcentaje muy elevado de metales, vidrio, papeles y cartones y materia orgánica, que pueden recuperarse, por lo que difícilmente podrá justificarse una política basada simplemente en la eliminación de los residuos sólidos. Además no solo perderemos estos recursos, sino que, al no hacer uso de la recuperación, el consumo de materias primas virgen y energía va en constante aumento con el consiguiente efecto sobre la economía.

Como ejemplo se mencionan los siguientes datos:

- Para conseguir una tonelada de pasta para la fabricación de papel son necesarios 14 árboles y cada uno tarda en crecer 20 años.
- Con la recuperación de 2 toneladas de plástico ahorraremos una tonelada de petróleo crudo.
- Para la producción de una tonelada de acero, si utilizamos material recuperado evitamos un barril y medio de crudo.
- En la fabricación de una tonelada de aluminio se invierte 29 barriles de crudo, y así consecuentemente con el cobre, el vidrio y los demás recursos que componen los residuos, al tiempo que se disminuye el consumo de materias primas generadores a su vez de contaminación.

Sin embargo, los procesos industriales de clasificación que se han mencionado suponen un consumo energético a tener en cuenta. Cuanto mayor sea la fracción de subproducto a recuperar, pueden ser mayores y más sofisticados los medios necesarios para su recuperación.

De ahí que únicamente se justifique la recuperación cuando la diferencia de calidad con las materias primas originales quede compensada por la diferencia de precio, o la componente de contaminación así lo determine.

Según la ONU, como consecuencia de la clasificación de residuos, el sector del reciclaje da trabajo a 12 millones de personas solo en Estados Unidos, China y Brasil, por lo cual contribuye a la generación de empleos.

La recuperación presenta ventajas e inconvenientes que podemos resumir así: aprovechamiento de materias primas, economía energética, uso racional de los recursos naturales y devolución a la tierra de su riqueza orgánica.

Los inconvenientes pueden ser las fuertes inversiones iniciales, de acuerdo a la tecnología empleada, el sometimiento a paros y averías, que impone un sistema alternativo, la producción de rechazos que exige un vertedero complementario, la gestión especializada y cuidadosa.

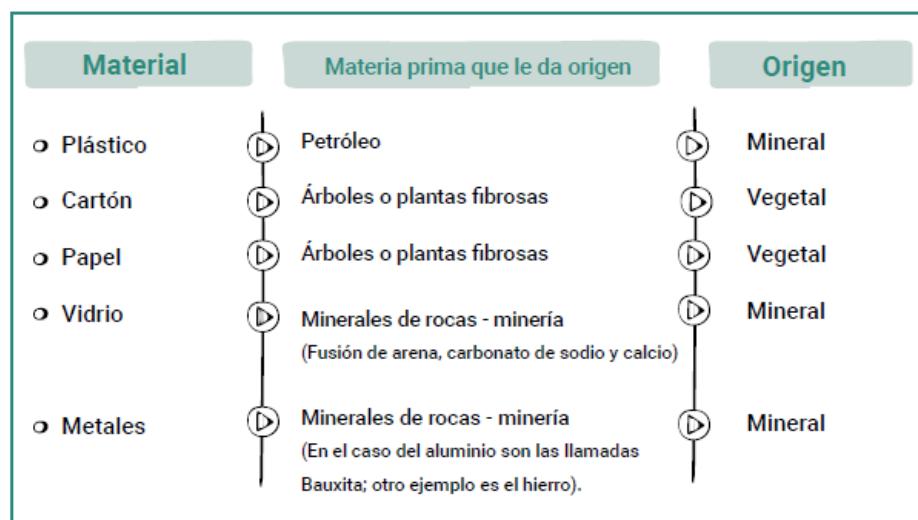
➤ **Reciclado**

El reciclado es un proceso que tiene como objeto la recuperación de los componentes que contienen los residuos urbanos y su introducción a un nuevo proceso.

Este sistema de tratamiento viene impuesto por el nuevo concepto de gestión de los residuos sólidos que debe tender a lograr los objetivos siguientes:

- Conservación o ahorro de energía.
- Conservación o ahorro de recursos naturales.
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar.
- Protección del medio ambiente.

En los RSU encontramos varios materiales residuales que pueden ser reciclados:



➤ **Compostaje**

El compostaje es un proceso de descomposición biológica, por vía aerobia, de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en condiciones controladas. Puede considerarse un tipo de reciclaje.

Las bacterias actuantes son termofílicas, desarrollándose el proceso a temperaturas comprendidas entre 50 y 70°C, lo que produce la eliminación de los gérmenes patógenos y la inocuidad del producto.

Realmente se puede considerar como un proceso de reciclaje en el que se recupera la fracción orgánica para su empleo en la agricultura, lo que implica una vuelta a la naturaleza de las sustancias de ella extraídas.

El material resultante del proceso, llamado compost, no es enteramente abono, aunque contiene nutrientes y oligoelementos, sino más bien un regenerador orgánico del terreno, razón por la que se le ha denominado "abono orgánico".

Sus efectos positivos sobre el suelo son:

- Suelta los terrenos compactos y compacta los demasiado sueltos.
- Aumenta la capacidad de retención de agua por el suelo.
- Es fuente de elementos nutritivos (nutrientes más oligoelementos).
- Aumenta el contenido de materia orgánica del suelo.

Las causas de su escasa utilización en muchas regiones están asociadas a:

- Mala calidad del producto ofrecido al agricultor.
- Falta de información al agricultor para su uso.
- Distancia de suministro excesiva.
- Capacidad de producción pequeña.

➤ **Vertido o Vertedero Controlado**

El vertido controlado consiste en la colocación de los residuos sobre el terreno extendiéndolos en capas de poco espesor y compactándolos para disminuir su volumen. Asimismo, se realiza su cubrimiento diario con material adecuado para minimizar los riesgos de contaminación ambiental y para favorecer la transformación biológica de los materiales fermentables. (Figura 13)

Las medidas preventivas y de control que han de tomarse son las que tienen como objetivos fundamentales:

- Limitar la producción de lixiviados
- Recoger los lixiviados que se produzcan
- Dar salida a los gases generados
- Limitar los ruidos y olores
- Evitar la dispersión de plástico y papeles.
- Evitar la proliferación de roedores e insectos
- Impedir la formación de polvo y humos.



FIGURA 13. Impermeabilización del fondo de un vertedero



FIGURA 14. Tratamiento de lixiviados

La elección de un terreno adecuado para el emplazamiento del vertedero es de gran importancia. Debe estar a la distancia adecuada, tener capacidad suficiente para el período de proyecto, ser accesible desde la red general de carreteras, sin ser visibles para los transeúntes y, sobre todo, debe estar garantizada la preservación de las aguas superficiales y subterráneas contra la contaminación por lixiviados, lo que exige estudios hidrogeológicos de viabilidad.

Los vertederos controlados presentan frente a los otros sistemas de tratamiento las siguientes ventajas:

- Fácil implantación
- Coste reducido de instalación y funcionamiento
- Capacidad de absorber variaciones de producción
- Escaso impacto ambiental cuando su proyecto y gestión son correctos.
- Posibilidad de utilización, una vez clausurado, como campo de deportes, zona ajardinada, lugar de acampar, etc.

Como inconvenientes se pueden considerar:

- La necesidad de grandes superficies de terreno
- Su ubicación alejada de los núcleos urbanos con el consiguiente encarecimiento del transporte de los residuos.

- La imposibilidad de aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos.

En cualquier caso, hay que considerar que el vertido es un sistema complementario de cualquier otro tipo de tratamiento, puesto que todos producen rechazos que hay que eliminar

➤ **Incineración**

La incineración es una técnica de tratamiento de residuos que permite reducir su volumen, su peso y modificar su composición. Consiste en someter los residuos a un proceso de oxidación a elevada temperatura. Puede realizarse con recuperación de energía.

La heterogeneidad de los materiales a tratar y los niveles de emisión impuestos por las normas legales ha obligado a desarrollar o adaptar unas tecnologías específicas para este proceso. Los aspectos socioeconómicos ponen de manifiesto que se requieren elevadas inversiones, grandes costes de operación y, en general, una fuerte oposición popular.

Bibliografía de referencia

[1] Ingeniería Ambiental: Fundamentos – Sustentabilidad – Diseño. James R. Mihelcic – Julie Beth Zimmerman. Editorial Alfaomega. 2012

[2] Ingeniería y Ciencias Ambientales. D.Mackenzie, S. Masten. Editorial Mc Graw Hill.2004.