

Rieles y Radioactivo Sustancia Biorremediación

*Mamá, ¿cómo podemos limpiar este horrible desastre?
¿Dónde estaba la antigua fábrica?*



Laura Newsome

Escuela de Minas y Medio Ambiente de Camborne y el Instituto de Sostenibilidad de la Universidad de Exeter, Reino Unido

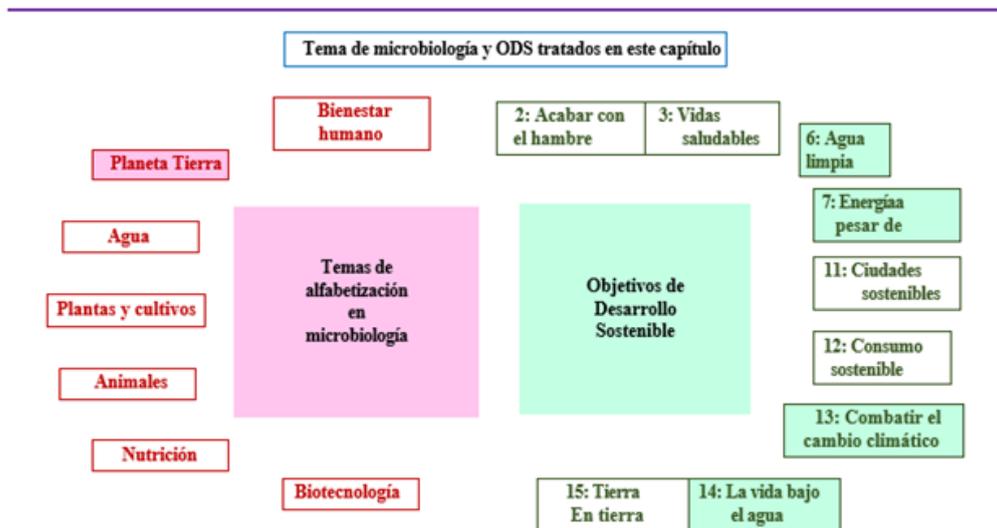
Riesgos y Radioactividad Sustancia Biorremediación

Sinopsis

Contaminación La contaminación del medio ambiente con sustancias nocivas es un problema importante que afecta a casi todos los países del mundo. Todos contribuimos a la contaminación al consumir los recursos de la Tierra y al desechar nuestros desechos. Asimismo, casi todas las actividades industriales pueden causar contaminación si no se toman precauciones para proteger el medio ambiente. Entre estas actividades se incluyen la minería, el petróleo y el gas, el transporte, la energía, la agricultura, la tecnología, la manufactura, la alimentación, la construcción, la atención sanitaria y la electrónica. Los desechos **radioactivos** son producidos por la energía **nuclear**, las industrias de la energía y la medicina nuclear. La fabricación de armas nucleares es importante para limpiar la contaminación y proteger la salud de las personas, la vida silvestre y el medio ambiente. Este marco temático describe cómo podemos usar la biología para limpiar la contaminación. **(remediar)** contaminación por **riesgos** y sustancias radiactivas en suelos y aguas (**Biorremediación**), y cómo esto puede contribuir a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible** Para entornos saludables y eliminación de la contaminación.

La microbiología y el contexto social

La microbiología: la importancia de tener suelos y aguas limpias, la contaminación del medio ambiente con metales **tóxicos** y sustancias radiactivas, ¿qué ocurre con la contaminación en los suelos y **agua subterráneas**, utilizar la biología para limpiar la contaminación. Cuestiones de sostenibilidad: entornos saludables, eliminar la contaminación.



Biorremediación de metales y sustancias radiactivas: la microbiología

1. **La importancia de tener suelos y aguas limpias.** “No puede haber vida sin suelo, ni suelo sin vida” (Charles E. Kellogg, 1938). Los **Suelos** sustentan la vida en la Tierra. Sin suelos no habría plantas, ni cultivos agrícolas y pocos hábitats para la vida **terrestre**. Los suelos contienen **nutrientes** que ayudan a las plantas a crecer. Los suelos son un **hábitat** (hogar) para organismos vivos, incluidos **microorganismos**. El agua de lluvia se filtra a través del suelo y forma un recurso llamado agua subterránea. Miles de millones de personas en todo el planeta dependen de pozos de agua subterránea para su suministro de agua potable. Los suelos pueden incluso ayudar a prevenir inundaciones al absorber el exceso de agua. También absorben **dióxido de carbono** de la atmósfera y reducir la velocidad del **cambio climático**. Los microorganismos son una parte esencial del suelo, ayudan a reciclar los nutrientes del suelo, descomponen las células muertas. **materia orgánica**, fijan el nitrógeno de la atmósfera para ayudar a las plantas a crecer.

2. **Las actividades humanas han contaminado el medio ambiente con metales tóxicos y sustancias radiactivas.** Muchas actividades humanas e industrias han introducido sustancias nocivas en el medio ambiente en niveles que pueden resultar peligrosos y causar contaminación. Los metales y las sustancias radiactivas son ejemplos de sustancias nocivas. Suelen ser tóxicas, lo que significa que provocan enfermedades e incluso pueden matar a seres vivos, incluidos los humanos.

Las fuentes de contaminación por metales pueden ser la minería, **fundición** (extracción de metales de las rocas), la quema de combustibles fósiles, los gases de escape de los automóviles, la aplicación de fertilizantes y pesticidas y la eliminación de desechos. Los metales que más nos preocupan son el arsénico, el cadmio, el cromo, el cobre, el plomo, el mercurio, el níquel y el zinc. La industria nuclear es la mayor fuente de contaminación por sustancias radiactivas e incluye la minería de uranio, la fabricación de combustible nuclear a partir de minerales de uranio, la producción de energía nuclear, **reprocesamiento de combustible nuclear** (reciclaje) y eliminación de residuos nucleares.

La contaminación del medio ambiente no solo perjudica a los seres humanos, sino también a la vida silvestre y a los diminutos microorganismos que viven en los suelos y las aguas. La contaminación puede provocar que los suelos se degraden y dejen de funcionar con normalidad. Por ello, es importante que limpiemos la contaminación y nos aseguremos de que la tierra sea segura para nuestro uso, especialmente después de que haya sido utilizada por las industrias.

3. **Principios generales para la remediación de la contaminación por metales y sustancias radiactivas.** Es muy difícil limpiar la contaminación, especialmente la contaminación por metales y sustancias radiactivas porque no se pueden destruir. En este caso solo hay dos opciones: A) retirarlos del medio ambiente y desecharlos de forma segura, por ejemplo, en un lugar especial como un **vertedero**, o B) asegurarse de que estén en una forma que no puedan alcanzar ni causar daño a la mayoría de los organismos vivos. La primera opción es muy costosa porque cuesta mucho dinero deshacerse de los desechos tóxicos en vertederos especiales. Hay varias formas de lograr la opción B, como usar productos químicos, construir barreras físicas o usar la biología, incluidos los microorganismos. Este tema describe cómo podemos usar procesos biológicos para remediar (limpiar) suelos y aguas contaminados, un proceso que llamamos biorremediación.

Expliquemos la opción B con un poco más de detalle. Para que la contaminación cause daño, debe ser móvil en el medio ambiente. Pensemos en la pregunta retórica “si un árbol cae en el bosque y no hay nadie allí, ¿sigue haciendo ruido?” Por supuesto, el árbol sigue haciendo

Un marco de educación en microbiología centrado

vibrar el aire con ondas sonoras, pero si no hay oídos para recibir esas ondas, entonces se puede argumentar que no hay sonido. Volviendo a nuestro tema de la contaminación en el medio ambiente, si no hay nada cerca de la contaminación y no puede ser transportada hacia nada (es decir, no hay nadie en el bosque), entonces no puede causar daño (es decir, el sonido está presente, pero nadie lo oirá). Esto es realmente importante para comprender si los metales y las sustancias radiactivas pueden causar daño o no. Usaremos dos ejemplos simplificados para ilustrar este punto. Imaginemos que se derrama un metal tóxico en el suelo. En un antiguo emplazamiento industrial en medio de la nada:

1. Si el contaminante **se disuelve** en el agua, podría viajar a través de los suelos y llegar a las aguas subterráneas que se utilizan para abastecer de agua potable a las personas, o podría llegar a los ríos o lagos que contienen vida silvestre. Sin embargo, si podemos cambiar el contaminante a una forma que no se disuelva en el agua (es decir, convertirlo en un gas inerte, **insoluble**), evitará que el contaminante llegue a un lugar donde podría causar daño.
2. Si el contaminante forma polvos, estos podrían ser arrastrados a largas distancias por el viento y luego **inhalado** por las personas y la vida silvestre. Sin embargo, si podemos evitar que se forme polvo, entonces no habría manera de que el contaminante llegue a ningún lugar donde pueda causar daño.

Por supuesto, las cosas en el mundo real son mucho más complicadas que esto, pero el principio de evitar que la contaminación cause daños es exactamente lo que tratamos de hacer.

4. Utilización de la biología para remediar la contaminación por metales y sustancias radiactivas. Como ya se ha dicho, los metales y las sustancias radiactivas no se pueden destruir, por lo que para remediar este tipo de contaminación debemos asegurarnos de que se encuentren en una forma que no puedan alcanzar ni causar daño a la mayoría de los organismos vivos. ¿Cómo puede hacer esto la biología? Trabajemos de nuevo con nuestros ejemplos 1 y 2, pero con problemas del mundo real.

- **Sustancias radiactivas en aguas subterráneas** Algunas instalaciones nucleares han provocado la contaminación de las aguas subterráneas con sustancias radiactivas. Por ejemplo, el **uranio** está presente en las aguas subterráneas que se encuentran debajo de la antigua planta de uranio Old Rifle, en el sitio Rifle del Departamento de Energía de los EE. UU. en Colorado (ver foto a continuación). En el pasado, los desechos de la planta de uranio se almacenaban en el sitio. El agua de lluvia se filtraba a través de los residuos, disolviendo el uranio y transportándolo a las aguas subterráneas. Ahora se han retirado todos los montones de residuos, pero el uranio disuelto en las aguas subterráneas aún permanece debajo de la superficie. Para tratar esta contaminación, los científicos han estado investigando cómo podemos usar microorganismos para transformar el uranio en formas que no puedan llegar a la mayoría de los organismos vivos. **bacterias** que pueden eliminar el uranio de las aguas subterráneas mediante su **metabolismo** Hacen que el uranio

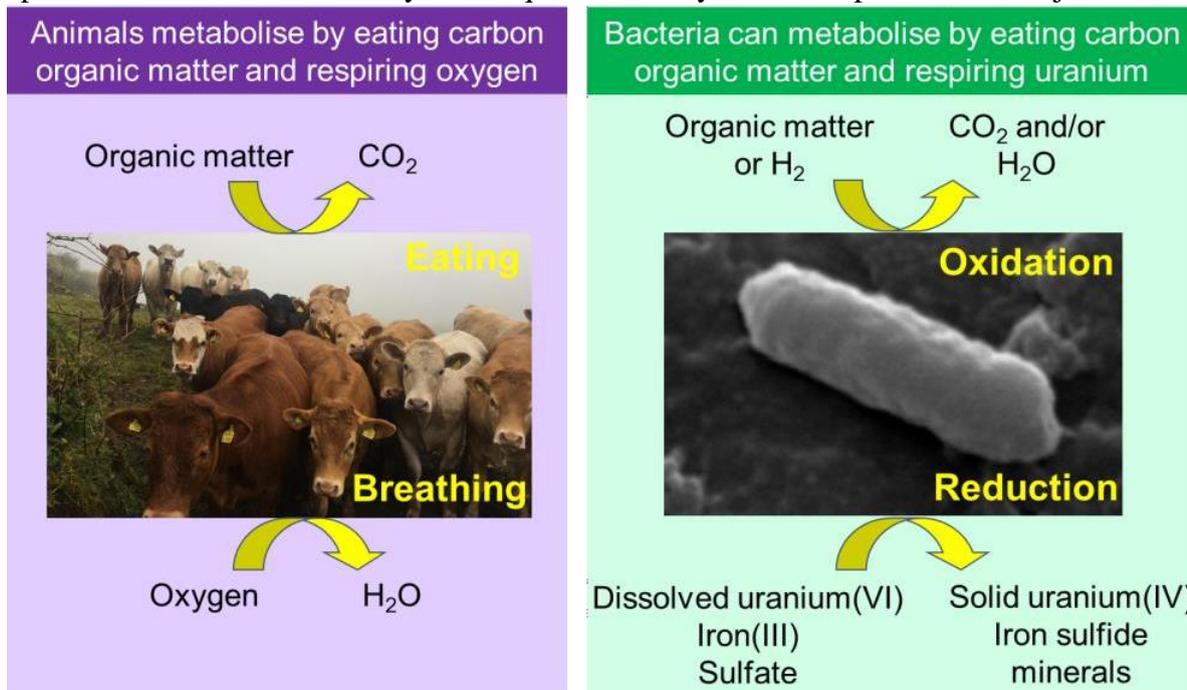


Un marco de educación en microbiología centrado

disuelto se convierta en insoluble y **precipitado** del agua subterránea como uranio sólido **minerales** esto evita que el uranio cause daños porque queda atrapado bajo tierra, donde no puede llegar a la mayoría de los organismos vivos.

¿Y cómo lo hacen? Empecemos con un tipo de metabolismo más conocido. Todos los animales y las personas metabolizan (producen energía para crecer y reproducirse) **respirando** el oxígeno de las bacterias pueden metabolizar de muchas maneras diferentes: algunas no necesitan oxígeno y otras ni siquiera necesitan comer carbono. Debajo del sitio de Old Rifle viven bacterias que, de hecho, respiran uranio, hierro y azufre. Por lo tanto, en lugar de respirar oxígeno y producir vapor de agua como lo hacemos nosotros, estas bacterias respiran uranio disuelto y producen minerales de uranio sólido. Este proceso se ilustra en el diagrama siguiente. Las bacterias realizan este proceso todo el tiempo, especialmente donde hay muy poco oxígeno, como en el suelo. Pero a veces no lo hacen lo suficientemente rápido, por lo que para acelerar las cosas podemos alimentarlas con más materia orgánica de carbono.

La foto de arriba muestra a los científicos preparando comida para estas bacterias. Esta se bombea al suelo y hace que las bacterias que respiran uranio produzcan más minerales de uranio insolubles y así remedian la contaminación del **agua subterránea**. No sólo eso, las otras bacterias producen minerales de hierro y azufre que también ayudan a atrapar el uranio bajo tierra.



El uso de microbios suele ser más económico que otras tecnologías de descontaminación. En el caso de las sustancias radiactivas, poder tratar esta contaminación en el suelo tiene ventajas adicionales, ya que significa que no es necesario bombear el agua subterránea a la superficie para su tratamiento, donde podría dañar a las personas. Sin embargo, los procesos microbianos pueden ser más lentos que los procesos físicos o químicos.

- **Minería de metales:** En las **minas** los sitios donde se extraen rocas del suelo se trituran hasta convertirlas en polvo, luego se procesan para eliminar el metal de interés y los desechos se eliminan apilándolos en montones (**montones de escombros**). Por lo general, solo se extrae un metal de la roca y el material de desecho restante a menudo contiene otros metales que

Un marco de educación en microbiología centrado

son tóxicos. No sólo eso, la roca en polvo forma fácilmente polvo, y por lo tanto existe un alto riesgo de que los desechos sean arrastrados por el viento y causen daños y contaminación en otros lugares. Sin embargo, si podemos cultivar plantas en el montón de escombros, esto evitará que se forme polvo. Eche un vistazo a la foto de la derecha. Esta área era anteriormente una mina de plomo. El plomo es un metal altamente tóxico que solía usarse en tuberías de agua y también se agregaba a la gasolina.



El material irregular en primer plano son los montones de escombros, pero ha sido cubierto con una gruesa capa de plantas y tierra. ¡Incluso el viento más fuerte no puede generar polvo aquí! La formación del suelo y el crecimiento de las plantas se produjeron de forma natural en esta mina en particular, pero no siempre es así (véase la imagen al principio de este marco temático). En otros yacimientos mineros, la biorremediación se puede realizar sembrando montones de escombros con plantas especiales resistentes a los metales y sus asociados **comunidades microbianas** (**bacterias, arqueas, hongos**) para acelerar el proceso. De hecho, a veces se utilizan plantas especiales. Estas no solo pueden lidiar con la contaminación por metales, sino que también son muy buenas para extraer metales del suelo, por lo que ayudan a limpiar la contaminación (un proceso llamado fitoextracción, es decir, extracción por plantas). Recuerde que estas plantas no crecerían sin el apoyo de los microorganismos presentes en el suelo para reciclar nutrientes, fijar nitrógeno y descomponer la materia orgánica.

Pertinencia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Desafíos

- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos en todas las edades** (*mejorar salud, reducir enfermedades prevenibles y muertes prematuras*). La remediación de la contaminación disminuye la posibilidad de que las personas se vean expuestas a sustancias tóxicas y a sus efectos nocivos para la salud es muy baja. Cuando se limpian los antiguos emplazamientos industriales, el terreno se puede reutilizar de forma segura para construir nuevos edificios o parques, o la vida silvestre puede prosperar allí. La biorremediación puede ser una forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente de limpiar la contaminación. Es especialmente útil porque se puede realizar sin necesidad de excavar los suelos y el agua contaminados, lo que significa que las posibilidades de que se produzcan problemas de salud durante el proceso de remediación son muy bajas.

- **Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos** (*garantizar agua potable, mejorar la calidad del agua, reducir la contaminación, proteger los ecosistemas relacionados con el agua, mejorar la gestión del agua y el saneamiento*). Limpieza de la contaminación en las antiguas la eliminación de residuos industriales reduce la posibilidad de que sustancias tóxicas entren en las aguas subterráneas, los arroyos y los ríos. También significa que se protegen los suministros de agua potable y los ecosistemas acuáticos. La biorremediación puede ser una forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente de limpiar la contaminación.

Un marco de educación en microbiología centrado

Posibles implicaciones para las decisiones

1. Políticas comunitarias.

- a) Consecuencias ambientales locales (contaminación de espacios públicos y masas de agua locales).
- b) Los costos de salud asociados a la contaminación.

2. Políticas nacionales.

- a) Contaminación Ambiental.
- b) Garantizar el suministro de agua potable.
- c) Asegurarse de que el contaminador pague los costes de limpieza.
- d) Elegir el mejor método para remediar la contaminación.

Participación de los alumnos.

1. Clase discusión de los asuntos.

- a) Asociado con la contaminación y su limpieza.
- b) en torno a la energía nuclear, que es una fuente de energía baja en carbono, por lo que es potencialmente mejor para limitar el cambio climático, pero provoca problemas con el manejo de sustancias radiactivas en los desechos.

2. Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas

- a) ¿Puedes pensar en otras formas de limpiar la contaminación?
- b) ¿Por qué crees que los microbios son una buena forma de limpiar la contaminación?
- c) ¿Por qué cree que la mayoría de las minas de metales solo extraen un metal de interés? ¿Podría haber una mejor manera de hacer las cosas para generar menos residuos? ¿Cómo podríamos lograrlo?

3. Ceremonias

- a) ¿Cuáles son las consecuencias de no hacer nada ante la contaminación?
- b) ¿Cómo puede asegurarse de que se paguen los trabajos de reparación? Si la empresa ha quebrado, ¿quién debería pagar los trabajos?
- c) ¿Cómo podemos saber si un suelo está lo suficientemente limpio? ¿Cuál es el nivel aceptable de contaminación, por ejemplo, ninguno, algo, cuánto?

La base de evidencia, lecturas complementarias y materiales didácticos

1. The Devil We Know (2018): una película de Netflix sobre la contaminación ambiental
2. Erin Brockovich (2000): una película sobre la contaminación de las aguas subterráneas por cromo
3. Más información en el Viejo Rifle sitio descrito en este tema estructura https://www.lm.doe.gov/Rifle/Fact_Sheet-rifle.pdf
4. Más información sobre el antiguo yacimiento minero de metales descrito en este marco temático <https://www.bgs.ac.uk/mendips/localities/priddy.html>
5. Recursos didácticos para utilizar la biorremediación para limpiar otras formas de contaminación, por ejemplo, derrames de petróleo. https://www.teachengineering.org/lessons/view/cub_lifescience_lesson04

Glosario

Arqueas– microbios unicelulares con una estructura celular simple. Tienen un aspecto muy similar al de las bacterias, pero sus genes son muy diferentes.

Bacteria– microbios unicelulares con una estructura celular simple.

Biorremediación: uso de la biología para limpiar (remediar) la contaminación. **Dióxido de carbono**: un gas con un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno.

Cambio climático– el rápido aumento de las temperaturas globales causado por la actividad humana, principalmente por la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera mediante la combustión.

Se disuelve/disuelto/disolviéndose– proceso por el cual las sustancias sólidas se incorporan a los líquidos y forman soluciones. Las sustancias que tienden a disolverse se denominan solubles, las que no tienden a disolverse se denominan insolubles. Lo opuesto a disolver es precipitar.

Hongos– organismos unicelulares o multicelulares, incluidos microorganismos (como la levadura) y macroorganismos (como los hongos).

Agua subterránea– agua dulce que se encuentra en el suelo, por ejemplo, en los poros (entre partículas) o fracturas (grietas) de suelos, sedimentos y rocas.

Hábitat– hogar, las condiciones en las que a determinados organismos les gusta vivir.

Inhalado– respiró.

Insoluble– sustancias que permanecen en la fase sólida y no suelen encontrarse en líquidos.

Vertedero– un lugar donde se eliminan los desechos en el suelo.

Metabolismo/metabolizar– producir energía para crecer y reproducirse, implica el movimiento de electrones en reacciones redox. Véase también respiración.

Rieles– elementos químicos que forman fácilmente iones positivos y enlaces metálicos. La mayoría de los metales son sólidos a temperatura ambiente y tienen una estructura cristalina conocida. Son brillantes, pueden ser blandos (como el oro) o duros (como el tungsteno). Algunos metales son muy solubles (como el sodio) y otros son muy insolubles (como el estaño). Muchos metales son nutrientes esenciales, los necesitamos en nuestra dieta para estar sanos. Otros metales son tóxicos y causan daños.

Microbios/Microorganismos/Microbiano– organismos tan pequeños que se necesita un microscopio para verlos. Entre ellos se encuentran las bacterias, las arqueas, los hongos, los virus, los protozoos y las algas.

Comunidades microbianas– Conjuntos de microorganismos que viven juntos e interactúan entre sí. Pueden incluir muchos tipos (especies) diferentes de bacterias, muchos tipos diferentes de hongos, etc. Hay muchas formas en que los microbios interactúan. Algunos microbios pueden actuar como depredadores y comerse a otros. Algunos microbios pueden ser descomponedores y comerse los desechos producidos por otros. Algunos microbios ayudarán a reciclar los nutrientes y los pondrán a disposición de otros.

Mina/minería– excavar rocas y minerales del suelo que contengan materiales valiosos/útiles, como metales o carbón.

Minerales– un material sólido que se encuentra en la naturaleza, con una estructura cristalina ordenada y una composición química definida. Todas las rocas están formadas por minerales. Los minerales se forman mediante procesos geológicos y son inorgánicos, lo que significa que no están formados por organismos vivos. Algunos ejemplos comunes de minerales son el

Un marco de educación en microbiología centrado

cuarzo (SiO_2), la sal de roca (halita, NaCl) y el oro de los tontos (pirita, FeS_2).

Nuclear– relacionado con el núcleo de un átomo. En este artículo se refiere a la energía que se produce cuando el núcleo de un átomo se rompe (fisión) o cuando dos núcleos se unen (fusión). La industria de la energía nuclear utiliza este proceso para generar electricidad. Primero se extraen minerales de uranio y se procesan para fabricar combustible nuclear. Este sufre fisión nuclear en reactores nucleares especiales y la energía impulsa turbinas para producir electricidad. Otro uso de la energía nuclear es en las armas nucleares (bombas atómicas). Los productos de desecho de la producción de electricidad y armas se denominan desechos nucleares y son altamente radiactivos.

Reprocesamiento de combustible nuclear– una vez que el combustible nuclear se ha utilizado para generar electricidad, se puede reciclar en un proceso llamado "reprocesamiento de combustible nuclear".

Nutrientes– sustancias que son esenciales para que los organismos vivos puedan sobrevivir, crecer y reproducirse. Entre ellas se encuentran las vitaminas y los elementos químicos, a los que a veces se denomina nutrientes minerales. Los animales también necesitan proteínas, carbohidratos y grasas, y obtienen sus nutrientes de los alimentos que comen. Los microbios y las plantas pueden obtener nutrientes directamente del medio ambiente, por ejemplo, del suelo.

Materia orgánica– compuestos basados en carbono que en su mayoría (pero no siempre) son producidos por seres vivos. Estos incluyen los productos de desecho del metabolismo y los productos de degradación que se forman durante la descomposición.

Oxidar/oxidación/redox– proceso químico en el que se pierden (donan) electrones. Cuando una sustancia química se oxida, al mismo tiempo se debe reducir otra sustancia química. Este tipo de reacciones se denominan reacciones redox y se utilizan en el metabolismo para producir energía.

Contaminación/contaminado/contaminante– sustancias que los seres humanos liberan al medio ambiente en niveles que pueden causar daño a los organismos vivos.

Precipitado– el proceso por el cual las sustancias líquidas tienden a cristalizarse y formar sólidos. Lo opuesto de precipitar es disolver.

Radioactivo– elementos o ciertas formas de elementos (isótopos) que son inestables. Por ejemplo, todos los tipos de uranio son radiactivos, la mayor parte del carbono no es radiactivo (carbono-12, carbono-13), aunque el carbono 14 es radiactivo (es la forma que se utiliza en la datación radiométrica o por carbono). Para volverse más estables, los elementos radiactivos se desintegran, lo que significa que emiten energía en forma de partículas u ondas. Si esta energía es absorbida por organismos vivos, puede causar daños, por lo que todas las sustancias radiactivas se clasifican como tóxicas. Algunos elementos radiactivos son mucho más dañinos (como el polonio) que otros (como el carbono 14).

Reducir/reducción/redox– proceso químico en el que se ganan (aceptan) electrones. Cuando se reduce una sustancia química, al mismo tiempo se debe oxidar otra. Este tipo de reacciones se denominan reacciones redox y se utilizan en el metabolismo para producir energía.

Remediar/remediación– limpiar, hacer mejor, perfeccionar.

Respirar/respiración– un tipo de metabolismo en el que la energía química se produce mediante reacciones redox. Por ejemplo, los animales y los seres humanos respiramos oxígeno y comemos carbono orgánico, y en nuestro cuerpo estos elementos sufren reacciones químicas para liberar energía. De hecho, el oxígeno se reduce y la glucosa se oxida.

Fundición– extracción de metales de las rocas mediante calentamiento.

Suelo– el material que se encuentra en la superficie de la Tierra donde crecen las plantas. Los

Un marco de educación en microbiología centrado

suelos contienen minerales, materia orgánica, agua, gas y organismos vivos, incluidos microorganismos.

Montones de escombros/escombros– materiales de desecho sobrantes de la minería, incluidas rocas y minerales.

Objetivos de Desarrollo Sostenible –17 objetivos fijados por las Naciones Unidas “para lograr un mundo mejor y “Un futuro más sostenible para todos”.

Terrestre– vive en la tierra, opuesto al acuático.

Tóxico– causa daño a los organismos vivos, por ejemplo, enfermedad o incluso la muerte, venenoso.

Uranio– un metal radiactivo de origen natural que se utiliza para fabricar combustible y energía nucleares.