



Modalidad Abierta y a Distancia

# Química ambiental

Guía didáctica



Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Química

---

## Química ambiental

*Guía didáctica*

| Carrera                          | PAO Nivel |
|----------------------------------|-----------|
| ▪ Gestión de Riesgos y Desastres | IV        |

**Autora:**

Jumbo Flores Diana Carolina



Asesoría virtual  
[www.utpl.edu.ec](http://www.utpl.edu.ec)

## **Química ambiental**

### **Guía didáctica**

Jumbo Flores Diana Carolina

**Universidad Técnica Particular de Loja**



4.0, CC BY-NY-SA

### **Diagramación y diseño digital:**

Ediloja Cía. Ltda.

Telefax: 593-7-2611418.

San Cayetano Alto s/n.

[www.ediloja.com.ec](http://www.ediloja.com.ec)

[edilojainfo@ediloja.com.ec](mailto:edilojainfo@ediloja.com.ec)

Loja-Ecuador

ISBN digital - 978-9942-39-199-5



La versión digital ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite: copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

15 de septiembre, 2021

# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Datos de información.....</b>                                     | <b>9</b>  |
| 1.1. Presentación de la asignatura .....                                | 9         |
| 1.2. Competencias genéricas de la UTPL.....                             | 9         |
| 1.3. Competencias específicas de la carrera .....                       | 10        |
| 1.4. Problemática que aborda la asignatura.....                         | 10        |
| <b>2. Metodología de aprendizaje.....</b>                               | <b>10</b> |
| <b>3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje.....</b>   | <b>11</b> |
| <br>  |           |
| <b>Primer Bimestre .....</b>  | <b>11</b> |
| Resultado de aprendizaje 1 .....  | 11        |
| Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje .....                 | 11        |
| <br>  |           |
| <b>    Semana 1 .....</b>   | <b>11</b> |
| <br>  |           |
| <b>        Unidad 1. Geoquímica .....</b>                               | <b>11</b> |
| 1.1. Geoquímica.....  | 12        |
| 1.2. Cosmoquímica .....   | 12        |
| 1.3. Diferenciación química de la Tierra.....                           | 15        |
| 1.4. Capas de la Tierra.....  | 15        |
| 1.5. Geoquímica de prospección.....                                     | 19        |
| 1.6. Preparación de las muestras .....                                  | 20        |
| 1.7. Métodos analíticos.....  | 21        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....                           | 22        |
| Autoevaluación 1 .....  | 23        |
| <br>  |           |
| <b>        Semana 2 .....</b>   | <b>25</b> |
| <br>  |           |
| <b>        Unidad 2. Elementos, isótopos y radiactividad .....</b>      | <b>25</b> |
| 2.1. Elementos de la tabla periódica .....                              | 25        |
| 2.2. Teoría atómica de la materia .....                                 | 25        |
| 2.3. Números cuánticos y periodicidad .....                             | 25        |
| 2.4. Fundamentos de la constitución y estabilidad de los núclidos. .... | 26        |
| 2.5. Potencial de ionización.....                                       | 28        |
| 2.6. Electronegatividad.....  | 29        |
| 2.7. Radiactividad .....  | 30        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....                           | 32        |
| Autoevaluación 2 .....  | 33        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Semana 3 .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>    Unidad 3. Elementos geoquímicos en la naturaleza .....</b>                  | <b>35</b> |
| 3.1. Elementos de la tabla periódica frecuentes en la corteza terrestre            | 35        |
| 3.2. Elementos raros dispersos .....   | 35        |
| 3.3. Elementos químicos en la ecósfera.....  | 36        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....                                      | 37        |
| Autoevaluación 3 .....   | 38        |
| <b>Semana 4 .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>    Unidad 4. Geoquímica de isótopos.....</b>                                   | <b>40</b> |
| 4.1. Desintegración radiactiva .....   | 40        |
| 4.2. Geoquímica de los isótopos radiactivos.....                                   | 41        |
| 4.3. Geoquímica de los isótopos estables.....                                      | 42        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....                                      | 44        |
| Autoevaluación 4 .....   | 45        |
| <b>Semana 5 .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>    Unidad 5. Ciclos biogeoquímicos.....</b>                                    | <b>47</b> |
| 5.1. Ciclo biogeoquímico .....   | 47        |
| 5.2. Tipos de ciclos.....  | 47        |
| 5.3. Interrelaciones entre los ciclos .....  | 55        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....                                      | 56        |
| Autoevaluación 5 .....   | 57        |
| Resultado de aprendizaje 2 .....   | 59        |
| Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje .....                            | 59        |
| <b>Semana 6 .....</b>  | <b>59</b> |
| <b>    Unidad 6. Química ambiental .....</b>                                       | <b>59</b> |
| 6.1. Química de los procesos naturales en la biosfera .....                        | 59        |
| 6.2. Química asociada con los procesos de contaminación.....                       | 60        |
| 6.3. Química aplicada al análisis de contaminantes y compuestos<br>naturales ..... | 61        |
| 6.4. Química aplicada al tratamiento y remediación ambiental.....                  | 62        |
| 6.5. Química verde.....  | 62        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....                                      | 62        |
| Autoevaluación 6 .....   | 63        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Semana 7 .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>Unidad 7. Química de los procesos atmosféricos.....</b>   | <b>65</b> |
| 7.1. Aire .....  | 65        |
| 7.2. ¿Cómo se formó la atmósfera de la Tierra? .....   | 66        |
| 7.3. Componentes de la atmósfera.....  | 66        |
| 7.4. Química troposférica.....   | 67        |
| 7.5. Principios físicos del efecto invernadero.....  | 67        |
| 7.6. Química estratosférica.....   | 68        |
| 7.7. Aerosoles.....  | 69        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....  | 70        |
| Autoevaluación 7 .....   | 71        |
| <b>Semana 8 .....</b>  | <b>73</b> |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....  | 73        |
| <b>Segundo Bimestre .....</b>  | <b>74</b> |
| <b>Semana 9 .....</b>  | <b>74</b> |
| <b>Unidad 8. Química de los procesos en la hidrosfera .....</b>  | <b>74</b> |
| 8.1. Aguas naturales: Tipos y composición .....  | 74        |
| 8.2. Interacciones del agua con aire y sedimentos: efectos químicos sobre los organismos acuáticos ..... | 75        |
| 8.3. Procesos fisicoquímicos en los sistemas acuáticos .....   | 77        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....  | 78        |
| Autoevaluación 8 .....   | 79        |
| <b>Semana 10 .....</b>   | <b>82</b> |
| <b>Unidad 9. Procesos bioquímicos naturales y organismos en la biosfera.....</b>                         | <b>82</b> |
| 9.1. Clasificación de los seres vivos .....  | 82        |
| 9.2. Clasificación nutricional de los organismos .....   | 85        |
| 9.3. Los hábitats de la vida: aire, tierra y agua.....   | 85        |
| 9.4. Niveles tróficos.....   | 86        |
| 9.5. Sostenibilidad de ecosistemas .....   | 88        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....  | 88        |
| Autoevaluación 9 .....   | 89        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Semana 11 .....</b>   | <b>91</b>  |
| <b>Unidad 10. Química de los procesos en la litósfera .....</b>                              | <b>91</b>  |
| 10.1. La litósfera y sus componentes .....   | 91         |
| 10.2. Formación y diferenciación de los minerales y las menas.....                           | 92         |
| 10.3. Intemperizado.....   | 96         |
| 10.4. Características del suelo.....   | 97         |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....  | 102        |
| Autoevaluación 10 .....  | 103        |
| <b>Semana 12 .....</b>   | <b>106</b> |
| <b>Unidad 11. La interfase sólido – agua, procesos de sorción e intercambio iónico .....</b> | <b>106</b> |
| 11.1. Los coloides del suelo.....  | 106        |
| 11.2. Fenómenos de adsorción. Isotermas .....  | 111        |
| 11.3. Adsorción química. Implicación ambiental .....   | 113        |
| 11.4. Procesos de adsorción sobre fases sólidas minerales .....                              | 115        |
| 11.5. Procesos de adsorción sobre la materia orgánica .....                                  | 116        |
| 11.6. Adsorción física. Capacidad de intercambio catiónico .....                             | 118        |
| 11.7. Adsorción de aniones .....   | 119        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....  | 119        |
| Autoevaluación 11 .....  | 120        |
| <b>Semana 13 .....</b>   | <b>122</b> |
| <b>Unidad 12. Procesos ácido – base y redox en medios terrestres .....</b>                   | <b>122</b> |
| 12.1. Sistemas ácidos – base en medios terrestres.....                                       | 122        |
| 12.2. Acidificación del suelo .....  | 124        |
| 12.3. Recuperación de suelos ácidos. Capacidad tamponante de un suelo.....                   | 125        |
| 12.4. Salinización de suelos. Causas y efectos.....  | 125        |
| 12.5. Tipos de suelos afectados por sales y rehabilitación.....                              | 126        |
| 12.6. Sistemas redox en medios terrestres .....  | 127        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....  | 128        |
| Autoevaluación 12 .....  | 129        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Semana 14 .....</b>  | <b>131</b> |
| <b>Unidad 13. Efectos de los contaminantes en la química de la atmósfera, hidrósfera y litósfera.....</b> | <b>131</b> |
| 13.1. Importancia de la fabricación y uso de sustancias químicas .....                                    | 131        |
| 13.2. Fuentes de sustancias químicas como contaminantes .....   | 131        |
| 13.3. Transporte, movilidad y partición de los contaminantes.....   | 132        |
| 13.4. Contaminación del aire, agua, suelos y sus efectos .....  | 132        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....   | 137        |
| Autoevaluación 13 .....   | 138        |
| <b>Semana 15 .....</b>  | <b>140</b> |
| <b>Unidad 14. Comportamiento y destino de los contaminantes en los sistemas terrestres.....</b>           | <b>140</b> |
| 14.1. Metales: Emisiones e impacto ambiental.....   | 140        |
| 14.2. Comportamiento ambiental de los metales pesados.....  | 141        |
| 14.3. Biometilación.....  | 143        |
| 14.4. Procesos de complejación en el medio ambiente .....   | 144        |
| 14.5. Comportamiento y destino de algunos metales pesados tóxicos...                                      | 145        |
| 14.6. Comportamiento ambiental de los contaminantes orgánicos.....  | 145        |
| 14.7. Procesos bióticos y abióticos de degradación.....   | 147        |
| 14.8. Comportamiento ambiental de los pesticidas .....  | 149        |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....   | 150        |
| Autoevaluación 14 .....   | 151        |
| <b>Semana 16 .....</b>  | <b>153</b> |
| Actividades de aprendizaje recomendadas .....   | 153        |
| <b>4. Solucionario .....</b>  | <b>154</b> |
| <b>5. Referencias Bibliográficas .....</b>  | <b>168</b> |



---

## 1. Datos de información

---

### 1.1. Presentación de la asignatura



### 1.2. Competencias genéricas de la UTPL

- Comunicación oral y escrita
- Orientación a la innovación y a la investigación
- Pensamiento crítico y reflexivo
- Trabajo en equipo
- Compromiso e implicación social

### **1.3. Competencias específicas de la carrera**

- Conoce las propiedades físicas y químicas de los principales compuestos nocivos para el medio ambiente.
- Conoce la importancia de la distribución geoquímica de los elementos y su influencia en la estabilidad mineral.

### **1.4. Problemática que aborda la asignatura**

Escaso nivel de desarrollo e investigación en temas de Gestión de Riesgos y Desastres. Actualmente el gobierno nacional a través del PND, dentro de las directrices y lineamientos territoriales busca fomentar y promover la investigación aplicada, el desarrollo y transferencia de tecnologías con la finalidad de potenciar la prevención de desastres que se puedan ocasionar.



---

## **2. Metodología de aprendizaje**

---

Con la finalidad de lograr diferentes resultados de aprendizaje se aplicará una metodología activa donde el estudiante será el protagonista, fomentando su participación a través de algunas actividades síncronas y asíncronas a lo largo del ciclo académico. Por ello, se trabajará con la metodología del autoaprendizaje, que se fundamenta en la posibilidad de aprender por uno mismo, de tal forma que los estudiantes pueden adquirir conocimientos y habilidades con el trabajo autónomo, pero acompañado del docente en este proceso. Con esta metodología se aporta también al mejoramiento de ciertas actitudes del estudiante, como son el compromiso, la responsabilidad y la disciplina.



### 3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje



#### Primer Bimestre

Resultado de aprendizaje 1

- Conoce la importancia de la distribución geoquímica de los elementos y su influencia en la estabilidad mineral.

#### Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje

Estimados estudiantes, con esta asignatura ustedes podrán alcanzar el resultado de aprendizaje esperado mediante la adquisición del conocimiento necesario para entender los fundamentos químicos en referencia a la distribución geoquímica de los elementos y su influencia en la estabilidad mineral.



#### Semana 1

En la semana 1, empezaremos con un tema introductorio, recordando conceptos fundamentales de la química general, específicamente, los elementos, isótopos y la radioactividad.

#### Unidad 1. Geoquímica

En esta semana iniciaremos viendo este video [¿Qué estudia la geoquímica en Ciencias de la Tierra?](#) donde se conoce en breves rasgos qué es la geoquímica, usos y conceptos generales.

## 1.1. Geoquímica

### 1.1.1. Concepto

Primero debemos conocer qué es la geoquímica, y conceptualmente, geoquímica es la aplicación de las herramientas de la química para resolver problemas geológicos, es decir, empleamos la química para entender la Tierra y cómo funciona. Estudia el origen, distribución y evolución de los elementos (y sus isótopos) en la tierra, relacionando su comportamiento con las propiedades atómicas (Lestussi, 2018).

### 1.1.2. Reseña histórica

Les recomiendo que lean la obra de Lestussi (2018) donde se explica algunas fechas importantes en el estudio de la geoquímica. Sin embargo, a continuación, les describo los puntos más importantes.

#### [Reseña histórica de la geoquímica](#)

## 1.2. Cosmoquímica

Según Lestussi (2018), la materia visible (protones, neutrones, electrones) es una pequeña parte del universo, el resto es energía y materia oscura. Los elementos más abundantes en el universo son: H (74%), He (24%), O (1%), C (0.5%), Ne, Fe, N, Si, Mg y S (menor a 0.1%).

Enfocándonos a la materia procedente del cosmos, debemos hablar de los **meteoritos**. Hay que diferenciar entre rocosos o **litolitos** y ferrosos o **sideritos**. Los litolitos, a su vez, se clasifican en **condritos** (son meteoritos primitivos, no están diferenciados, aportan datos de la formación del sistema solar) y **acondritos**. Por otra parte, los acondritos y los sideritos están diferenciados por procesos en los asteroides de los que provienen y aportan información de la formación de los planetas, como podemos ver en la tabla 1.

**Tabla 1.***Clasificación de los meteoritos*

|                  |            | Familia          | Tipos            | Ejemplares conocidos |
|------------------|------------|------------------|------------------|----------------------|
| No diferenciados | Condritas  | Ordinarias       | H                | 16157                |
|                  |            |                  | L                | 14454                |
|                  |            |                  | LL               | 5173                 |
|                  |            |                  | CI               | 9                    |
|                  |            |                  | CM               | 437                  |
|                  |            |                  | CB               | 18                   |
|                  |            |                  | CV               | 204                  |
|                  |            |                  | CO               | 267                  |
|                  |            |                  | CK               | 202                  |
|                  |            |                  | CR               | 126                  |
| Diferenciados    | Rocosos    | Carbonáceas      | CH               | 22                   |
|                  |            |                  | EH               | 164                  |
|                  |            |                  | EL               | 96                   |
|                  |            |                  | Rumuríticas      | R                    |
|                  |            |                  | Kakangari        | K                    |
|                  |            |                  | Shergotitas      | 72                   |
|                  |            |                  | Naichitas        | 13                   |
|                  |            |                  | Chaisignitas     | 2                    |
|                  |            |                  | Ortopiroxonigtas | 2                    |
|                  |            |                  | Impact brecha    | 41                   |
| Diferenciados    | Acondritas | Marte SNC        | Basalto          | 105                  |
|                  |            |                  | Howarditas       | 204                  |
|                  |            |                  | Eucrítas         | 569                  |
|                  |            |                  | Diagenitas       | 224                  |
|                  |            |                  | Acapulcatas      | 96                   |
|                  |            |                  | Winonaitas       | 20                   |
|                  |            |                  | Angnitas         | 19                   |
|                  |            |                  | Brachiítas       | 23                   |
|                  |            |                  | Aufírlitas       | 65                   |
|                  |            |                  | Urelitas         | 286                  |
| Diferenciados    | Acondritas | Lunares          |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
| Diferenciados    | Acondritas | HED, VESTA       |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
| Diferenciados    | Acondritas | Asteroïdes       |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
| Diferenciados    | Acondritas | Otros asteroïdes |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |
|                  |            |                  |                  |                      |

|                | Familia          | Tipos           | Ejemplares conocidos |
|----------------|------------------|-----------------|----------------------|
|                | Hexaedritas      |                 |                      |
|                |                  | Muy gruesa      |                      |
|                |                  | Gruesa          |                      |
| Metálicos      | Octaedritas      | Media           | 1051                 |
|                |                  | Fina            |                      |
|                |                  | Finísima        |                      |
|                |                  | Piessítica      |                      |
|                | Ataxitas         |                 |                      |
|                | Mesosideritos    |                 | 267                  |
| Metalo-Rocosos | Pallasitas       | Grupo principal | 79                   |
|                |                  | Eagle seation   | 3                    |
|                |                  | Piroxetia       | 4                    |
|                | Total ejemplares |                 | 10.493               |

Nota. Tomado de Santos (sf)

En la tabla antes mencionada pudimos observar los diferentes tipos de rocas, además, los cometas son cuerpos celestes de hielo, polvo y rocas. Están formados por un núcleo, un halo o coma y dos colas y orbitan alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas (Lestussi, 2018).

### 1.3. Diferenciación química de la Tierra

Según White (2001), antes de adentrarnos a qué es la química de la Tierra, hay que mencionar que los científicos, actualmente, no consideran a Plutón como un planeta; entonces se tiene una clasificación en tres grupos dependiendo del tamaño, densidad y composición:

- **Planetas terrestres** (Mercurio, Venus, Tierra): Contienen silicatos y Fe-Ni metálico.
- **Planetas gigantes** (Júpiter, Saturno): Contienen H y He.
- **Planetas helados exteriores** (Urano, Neptuno, y hasta hace poco Plutón): Contienen capas gaseosas exteriores con mantos de hielo de H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> y núcleos de metal silicatado.

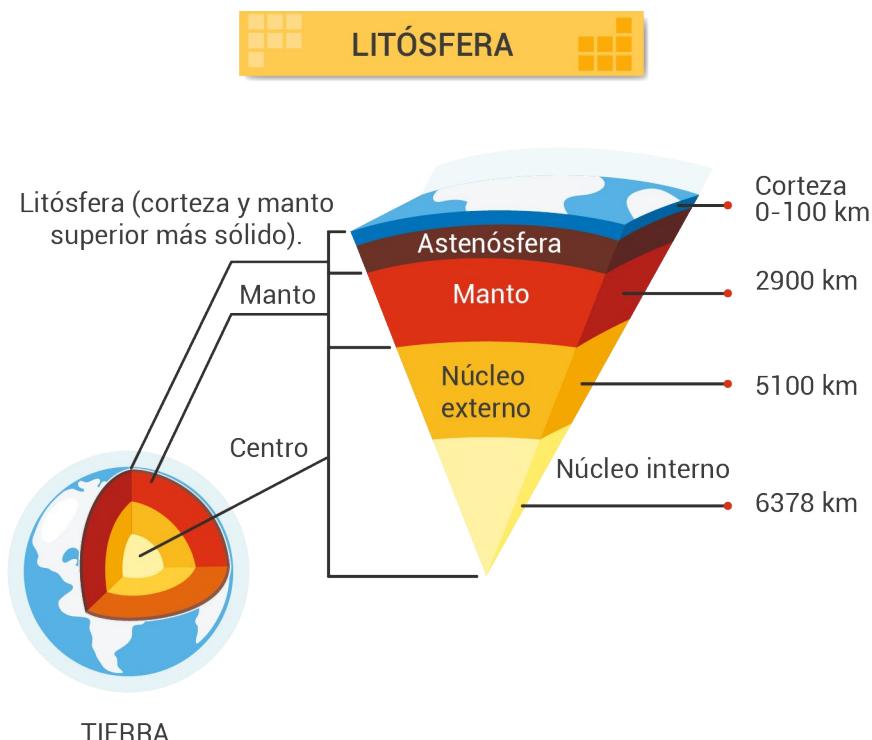
La Tierra, según su composición química y propiedades físicas, puede dividirse en capas de material homogéneo (corteza, manto, núcleos externo e interno). Su dimensión se ha determinado mediante velocidades de ondas sísmicas generadas por movimientos tectónicos. Estas mediciones se relacionan con las propiedades del medio donde se propagan las ondas, y por tanto, se generan discontinuidades sísmicas, las cuales les describo a continuación:

- **Discontinuidad de Mohorovicic:** Zona de transición entre corteza y manto.
- **Discontinuidad de Gutenberg:** Zona de transición entre manto y núcleo.
- **Discontinuidad de Wiechert-Lehmann-Jeffrys:** Zona de transición entre núcleo externo e interno.

### 1.4. Capas de la Tierra

En la figura 1, podemos observar las capas que conforman el planeta Tierra y veremos una breve descripción de cada una de las capas.

**Figura 1.**  
*Capas de la tierra*



Nota. yusuf demirci | vecteezy.com

#### 1.4.1. Núcleo

El núcleo representa el 16% en volumen y el 32% en masa de la Tierra. Está conformado por un núcleo exterior (fluido) y un núcleo interior (sólido). Entre los elementos principales tenemos al Fe con un 32.1% y Ni (elemento cósmicamente abundante), pero está deprimido en la tierra silicatada (Lestussi, 2018).

#### 1.4.2. Límite núcleo – manto

El límite manto núcleo representa un cambio profundo (estado de agregación, densidad, composición, fugacidad de oxígeno, velocidades sísmicas, temperatura) (Lestussi, 2018).

#### 1.4.3. Manto

El manto es un gran reservorio químico y constituye por encima del 99% de los silicatos de la masa de la Tierra y en la masa de la corteza es menos

del 1%. El manto representa el 88% en volumen y 67% en masa de la Tierra. Está dividido en **manto superior** (capa de bajas velocidades sísmicas, lo que implica baja densidad, alta temperatura y se denomina astenosfera) y **manto inferior** (capa que presenta anisotropía en velocidades sísmicas denominada D) (Lestussi, 2018).

- **Superior:** En los primeros 200 km hay un cambio en la naturaleza aluminosa con el incremento de la presión. La lherzolita granatífera permanece estable hasta los 300 km. A partir de esta profundidad los piroxenos empiezan a reaccionar con el granate formando majorita completándose el cambio a 460 km, con un incremento en la densidad de 10%.
- **Inferior:** Comprende desde 660 a 2900 km. La composición es similar al manto superior (Si, Mg, Fe, con cantidades menores de Ca, Al, Ti) pero se cree que puede estar más enriquecido en Fe que el manto superior. La densidad incrementa un 1% en la superficie de la capa y las velocidades sísmicas son anisótropas.

#### 1.4.4. Límite manto – corteza

La corteza se extrajo del manto a través de sucesivos procesos de fusión parcial. La composición del manto antes de la extracción de la corteza se denomina **manto primitivo** o tierra silicatada. Variaciones en la composición de isótopos radiogénicos en basaltos oceánicos demuestran la existencia de distintos reservorios geoquímicos, fuentes de los magmas generados en las dorsales oceánicas y en las islas volcánicas. La litósfera subcontinental es otro reservorio de composición diferenciada, tanto por extracción de fundidos como por metasomatismo de fluidos provenientes de la deshidratación de corteza oceánica subductada. La litosfera subcontinental es más heterogénea que el manto suboceánico (Lestussi, 2018).

#### 1.4.5. Corteza

Distinguimos dos tipos: corteza oceánica y continental.

- **Corteza oceánica:** Es creada por magmatismo en dorsales oceánicas, tiene composición basáltica, es más uniforme, de menor espesor y más nueva respecto a la corteza continental.

**Tabla 2.**

*Datos relevantes de la corteza oceánica*

**Capas:** El magma entra en la corteza a 1200°C, pierde calor por conductividad y sobre todo por circulación de agua oceánica, a raíz de lo cual cristaliza.

| Capa sísmica N°1:   | Capa sísmica N°2:   | Capa sísmica N°3:   |
|---|---|---|
| Son sedimentos pelágicos y no hay en dorsales meso-oceánicas. | Flujos de lava basáltica (800 m de espesor), diques subyacentes que alimentan estas erupciones (800 m), | Gabros formados por magmas basálticos que cristalizaron en el lugar (isótropos, 5 km de espesor) y cúmulos de minerales que cristalizaron del magma basáltico en cámaras magmáticas corticales (estratificados, promedio 6-7 km), |

**Abundancia** (elementos mayores):  $\text{SiO}_2$  50.1%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.7%,  $\text{CaO}$  11.8%,  $\text{MgO}$  10.3%,  $\Sigma\text{Fe}$  8.3%,  $\text{Na}_2\text{O}$  2.2%,  $\text{TiO}_2$  1.1%,  $\text{MnO}$  0.11%,  $\text{K}_2\text{O}$  0.11,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.1%.

**Dorsales oceánicas:** Su profundidad está relacionada a la temperatura del manto subyacente. Mantos más calientes intersectan el solidus a mayor presión, por lo que funden a mayor profundidad, generando mayor grado de fusión parcial, una columna de magma más elevada y la consecuente elevación de la dorsal que se asienta sobre el mismo. Mantos fríos empiezan a fundir a profundidades más someras generando dorsales menos elevadas y menor grado de fusión parcial.

**MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt):** Generado por cristalización fraccionada de la corteza oceánica. No es representativo de la composición de toda la corteza oceánica, está menos enriquecido en incompatibles que la corteza continental. Tiene una composición muy homogénea a través de las cuencas oceánicas.

Nota. Tomado de Lestussi (2018)

- Corteza continental: Está estratificada (la parte más baja es más rica en Mg, Fe y menos rica en  $\text{SiO}_2$ ). Los contrastes entre parte superior y parte inferior son más fuertes que en la corteza oceánica, pero no tiene una estructura en capas a la manera de la corteza oceánica, resultantes de su creación. La composición de la corteza media corresponde a una andesita, que en las condiciones reinantes es una anfibolita. La composición de la corteza inferior es de un basalto toléítico o en terminología metamórfica una granulita máfica (Lestussi, 2018).

## 1.5. Geoquímica de prospección

En el libro de Geoquímica digital se colecta una información muy valiosa que les recomiendo que lean, principalmente los capítulos 1, 5 y 6. El autor afirma que la **geoquímica de prospección** comprende varios métodos y procedimientos de los elementos y compuestos químicos presentes en materiales naturales, con la finalidad de detectar depósitos minerales. Según el material estudiado los métodos se clasifican en:

- **Litogegeoquímicos o de aureolas primarias:** Se enfoca en el contenido de rocas.
- **Metalométría o geoquímica de suelos:** Se encarga de la composición de suelos residuales o redepositados. La presencia o ausencia de los horizontes de suelo dependen de las particularidades del sector pero en el horizonte B (de acumulación) se suelen concentrar los elementos químicos.

Por otra parte, el plan de muestreo se diseña dependiendo de las características del problema a tratar y del presupuesto con que se cuenta. Se tienen características específicas dependiendo de la matriz que se desea caracterizar:

- **Suelo:** El método clásico de muestreo es a lo largo de los perfiles, pero se debe considerar también una dirección perpendicular a la dirección principal que tenga el foco de emisión, la topografía y verificar que los contaminantes sigan este patrón de migración descendente. (tabla 3)
- **Sedimentos activos:** Están compuestos por los productos menos solubles de la meteorización, por elementos móviles y por material removido de las aguas y adsorbido en los sedimentos como, por ejemplo, los metales adsorbidos en minerales de arcillas u oxihidróxidos de hierro o manganeso.

**Tabla 3.***Recomendaciones para muestreo*

| Suelo        |                           |                                     | Sedimentos                            |  |
|--------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Escala       | Intervalos entre perfiles | Intervalos entre puntos de muestreo | Longitud mínima del cauce a muestrear | Número de puntos de muestreo por km <sup>2</sup> |
| 1: 1.000.000 | 12-8 km                   | 100 m                               |                                       |  |
| 1: 500.000   | 6-4 km                    | 100 m                               |                                       |  |
| 1: 200.000   | 2 km                      | 100-50 m                            | 0.8 km                                | 1.7-2.1  |
| 1: 100.000   | 1 km                      | 100-50 m                            | 0.4 km                                | 4.0-5.0  |
| 1: 50.000    | 0.5 km                    | 50-40 m                             | 0.2 km                                | 8.5-14.0   |
| 1: 25.000    | 250-200 m                 | 40-20 m                             | 0.1 km                                | 18.0-32.0  |
| 1: 10.000    | 100 m                     | 20-10 m                             |                                       |  |
| 1: 5.000     | 50 m                      | 20-10 m                             |                                       |  |
| 1: 2.000     | 20 m                      | 10-5 m                              |                                       |  |
| 1: 1.000     | 10 m                      | 5 m                                 |                                       |  |

*Nota. Libro de Geoquímica digital*

- **Hidrogeoquímicos:** Se centran en la composición de aguas (ríos, lagos, pozos, etc.). La importancia de la migración de los elementos se debe a la movilidad geoquímica. Las anomalías dependen de las variaciones climáticas (precipitaciones, temperatura)
- **Atmogeoquímicos:** Se enfocan en la constitución del aire presente en el suelo, rocas o atmósfera.
- **Biogeоquímicos:** Su centro de estudio es la composición de la flora o la fauna (microscópica).

## 1.6. Preparación de las muestras

En el capítulo 5 del libro de Geoquímica digital se explica que a las muestras se les aplica un pretratamiento antes de analizarla para cuantificar los elementos de interés. Los objetivos son:

- Asegurar que la muestra se transporte y almacene adecuadamente.
- Homogeneizar la muestra garantizando la representatividad.

### 1.6.1. Descomposición de las muestras

Las muestras se pueden descomponer por varios motivos durante el traslado y análisis como son:

- **Volatilización:** por aplicar altas temperaturas mediante una descarga eléctrica a la muestra.
- **Fusión:** se funde la muestra con una sal inorgánica que posea un punto de fusión bajo ( $\geq 300^{\circ}\text{ C}$ ).
- **Ataque con ácidos concentrados y calientes (extracción caliente):** a  $100^{\circ}\text{C}$  o más, se emplean ácidos como el nítrico, perclórico, clorhídrico, sulfúrico o fluorhídrico.
- **Extracción fría:** aplicando un disolvente ácido diluido.

### 1.7. Métodos analíticos

En el capítulo 6 del libro de Geoquímica digital hay varias técnicas para determinar el contenido de los elementos en las muestras, por lo tanto, hay que elegir un método eficiente dependiendo del costo, tiempo, equipamiento, etc. Algunas de las técnicas más usadas son:

- **Colorimetría:** es el cambio de color de una solución por una reacción química.
- **Gravimetría:** es la medición por diferencia de pesos. Las partículas se recogen en filtros y se pesan.
- **Espectrometría de emisión y absorción atómica:** las radiaciones dependen de la longitud de onda.
- **Fluorescencia de rayos X:** los átomos que son excitados a altos niveles de energía.
- **Espectrometría de radiación gamma:** ofrece la posibilidad de estimar los contenidos de potasio, uranio y torio.
- **Espectrometría de plasma:** se usa para determinar concentraciones trazas de elementos.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, respondan las siguientes preguntas. Puede emplear el texto de Lestussi (2018).

1. Realice un mapa mental de los tipos de meteoritos con cada una de sus características.
2. Le recomiendo que profundice en el aprendizaje de los métodos analíticos.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 1, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, les invito a desarrollar la autoevaluación 1.



## Autoevaluación 1

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. Los meteoritos más abundantes son:
  - a. Las condritas, por conservar la composición de los compuestos que eran más abundantes en la nebulosa.
  - b. Los siderolitos, porque dieron lugar a los mantos de los planetas.
  - c. Las acondritas, porque dieron lugar a los silicatos de las cortezas y mantos.
  - d. Los sideritos, porque siguen siendo más abundantes en el cinturón de asteroides.
2. Los asteroides son:
  - a. Meteoritos de gran tamaño.
  - b. Fragmentos de planetas enanos.
  - c. Estrellas fugaces dejadas por cometas.
  - d. Cuerpos rocosos, más pequeños que planetas, cuyas órbitas se sitúa entre Marte y Júpiter.
3. ¿A dónde apunta la cola de los cometas?
  - a. Al sitio adonde se dirigen.
  - b. La cola queda detrás, al sitio de donde vienen.
  - c. Siempre en la dirección opuesta al Sol.
  - d. En dirección opuesta a la línea que forman con la Tierra, desde donde la observamos.
4. Los planetas se diferencian en:
  - a. Terrestres, gigantes, helados exteriores.
  - b. Terrestres y gigantes.
  - c. Gigantes y helados exteriores.
  - d. Terrestres y helados exteriores.

5. Las discontinuidades sísmicas limitan las diferentes capas de la Tierra.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
6. En la corteza oceánica se distinguen dos capas sísmicas.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
7. Las muestras deben ser representativas y asegurar el transporte y almacenaje correcto para no alterar la calidad de la misma.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
8. Las muestras se pueden descomponer por someterlas a temperaturas elevadas.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
9. Las muestras se deterioran si se atacan con ácidos concentrados.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
10. Un método analítico que usualmente se usa para determinar las concentraciones trazas de los elementos es con la fluorescencia de rayos X.
  - a. Verdadero
  - b. Falso

[Ir al solucionario](#)



### Unidad 2. Elementos, isótopos y radiactividad

#### 2.1. Elementos de la tabla periódica

En la siguiente infografía se les dará a conocer algunas características, propiedades y usos de los elementos que forman parte de la tabla periódica.

[Tabla periódica](#)

#### 2.2. Teoría atómica de la materia

Los filósofos creían que la materia era divisible, pero Demócrito objetó diciendo que la materia se conforma de partículas indivisibles (átomos). Posteriormente, John Dalton, publicó la **Teoría atómica de Dalton** cuyos postulados son:

- Cada elemento se compone de átomos.
- Los átomos de un elemento son idénticos.
- Los átomos de un elemento no se transforman en tipos de átomos diferentes mediante reacciones químicas.
- Se forman compuestos cuando se combinan átomos de más de un elemento.

#### 2.3. Números cuánticos y periodicidad

Todos los átomos están compuestos por protones, neutrones y electrones. El número de protones define el número atómico, y la suma de protones y neutrones de un elemento detalla su peso atómico. Observemos la siguiente infografía.

[Propiedades de las partículas elementales](#)

Además, si tenemos que describir tanto la distribución como el comportamiento de los electrones en un átomo se emplean cuatro números cuánticos derivados de la ecuación de onda de Schrödinger:

- **Número cuántico principal ( $n$ ):** Indica la “distancia promedio” de un electrón al núcleo, y su energía correspondiente. Toma valores discretos de 1 a 7. Cada valor determina una capa o nivel electrónico.
- **Número cuántico angular o acimutal ( $l$ ):** Puede tomar valores discretos en el intervalo (0,  $n-1$ ). Se simboliza los valores de  $l$  por letras de acuerdo al convenio (figura 2).

**Figura 2.**

*Descripción del número cuántico acimutal*

|         |   |   |   |   |   |   |
|---------|---|---|---|---|---|---|
| $l$     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| símbolo | s | p | d | f | g | h |

Así los niveles:

$n=1$  tendrá solo un subnivel  $l = 0$ , designado como subnivel s;

$n=2$ , tendrá dos subniveles  $l = 0$ (s) y  $l = 1$ (p);

$n=3$ , tendrá 3 subniveles,  $l = 0$ (s),  $l = 1$ (p) y  $l = 2$ (d)  
respectivamente, etc.

Nota. Libro de Geoquímica digital

- **Número cuántico magnético ( $m_l$ ):** Puede tomar valores discretos en el intervalo (- $l$ , + $l$ ). Para el subnivel 2s solo tendremos un orbital posible  $m_l = 0$ ; en el subnivel 2p podrán existir hasta 3 orbitales correspondientes a los valores de  $m_l$  (-1, 0, +1).
- **Número cuántico spin:** Puede tomar los valores discretos +1/2 y -1/2, e indica la polarización del campo magnético de un electrón. En un orbital puede haber 2 electrones, pero deben tener spines opuestos.

## 2.4. Fundamentos de la constitución y estabilidad de los núclidos.

### 2.4.1. Generalidades

Sabemos que ciertos núcleos son inestables en su estado natural debido a las diferencias entre las atracciones y repulsiones que existen dentro del núcleo. Los átomos que tienen mismo número de protones, pero diferente

número de neutrones los conocemos como **isótopos**, mientras que núcleos con idéntico número de neutrones, pero diferente número de protones se denomina **isótono**. De aproximadamente 350 isótopos de origen natural, alrededor de 80 son radiactivos (Ibáñez et al., 2013).

Un **núclido** es el conjunto de todas las posibles especies nucleares de un elemento químico. Estos se agrupan según las características que comparten (Tabla 4). Los núclidos se escriben así:

**Z A Símbolo n atómico m másico X**

**Tabla 4.**

*Tipos de núclidos*

| Núclidos    | Características   | Ejemplos      |
|-------------|---|---------------|
| Isótopos    | Núclidos con el mismo número atómico y distinto número másico.  | 11H 13H       |
| Isótulos    | Núclidos con el mismo número de neutrones.  | 1123Na 1224Mg |
| Isóbaros    | Núclidos con el mismo número másico.  | 614C 714N     |
| Isómeros    | Núclidos con el mismo número atómico y másico pero diferente estado energético.   | 919F 919mF    |
| Isodiaforos | (Exceso de neutrones) son los núclidos con el mismo número de neutrones en exceso respecto al mismo número de protones. |               |

Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

#### 2.4.2. Estabilidad nuclear

Para entender a profundidad la química nuclear, les recomiendo que lean el capítulo 8 de la obra de Sawyer et al. (2001) donde se menciona que la radiactividad es un proceso nuclear, es decir, de desintegración espontánea del núcleo. La estabilidad nuclear es el equilibrio entre las fuerzas de repulsión eléctrica de los protones y la fuerza atractiva nuclear de corto alcance que experimentan los protones y neutrones del núcleo. Por ello, es importante la relación entre el número de protones (Z) y de neutrones (N).

Los núcleos livianos son estables porque N es aproximadamente igual a Z, es decir, la relación entre N y Z es 1 ( $N/Z=1$ ), mientras que, en los núcleos pesados la estabilidad se consigue con mayor número de neutrones y la relación entre N y Z puede ser de hasta 1.56 ( $N/Z=1.56$ ), desviándose del valor 1. Según la relación N/Z los núclidos se subdividen en cuatro tipos, según el número par o impar de protones y neutrones (tabla 5).

**Tabla 5.***Tipos de núclidos*

| Combinación Z - N | Tipo | Paridad | Ejemplo | Número de núclidos |
|-------------------|------|---------|---------|--------------------|
| Par – Par         | 1    | Par     | 8160    | 159                |
| Par – Impar       | 2    | Impar   | 49Be    | 55                 |
| Impar – Par       | 3    | Impar   | 511B    | 49                 |
| Impar - Impar     | 4    | Par     | 36Li    | 5                  |

Nota. Tomado de Sawyer et al. (2001)

La paridad está relacionada con las propiedades simétricas de las funciones de onda nuclear. Se dice que un núclido tiene paridad impar o par si el signo de la función de onda del sistema respectivamente cambia o no con los cambios de signo en todas las coordenadas espaciales.

## 2.5. Potencial de ionización

Según White (2000), el potencial de ionización o energía de ionización se define como la energía necesaria que se debe aplicar a un átomo para arrancarle un electrón de su capa de valencia, convirtiendo el átomo en un ion positivo (catión). Dentro del potencial de ionización, hay varios tipos:

- **Primer Potencial de Ionización:** Es la energía requerida para remover el electrón de un átomo o molécula más débilmente sujeto a una distancia tal que no exista interacción electrostática entre el ion y el electrón.



- **Segundo Potencial de Ionización:** Es la energía necesaria para arrancar a un segundo electrón.

La energía de ionización total es la suma de los sucesivos potenciales de ionización (tabla 6), y en la figura 3 podemos ver la direccionalidad de la energía de ionización en la tabla periódica.

**Tabla 6.**

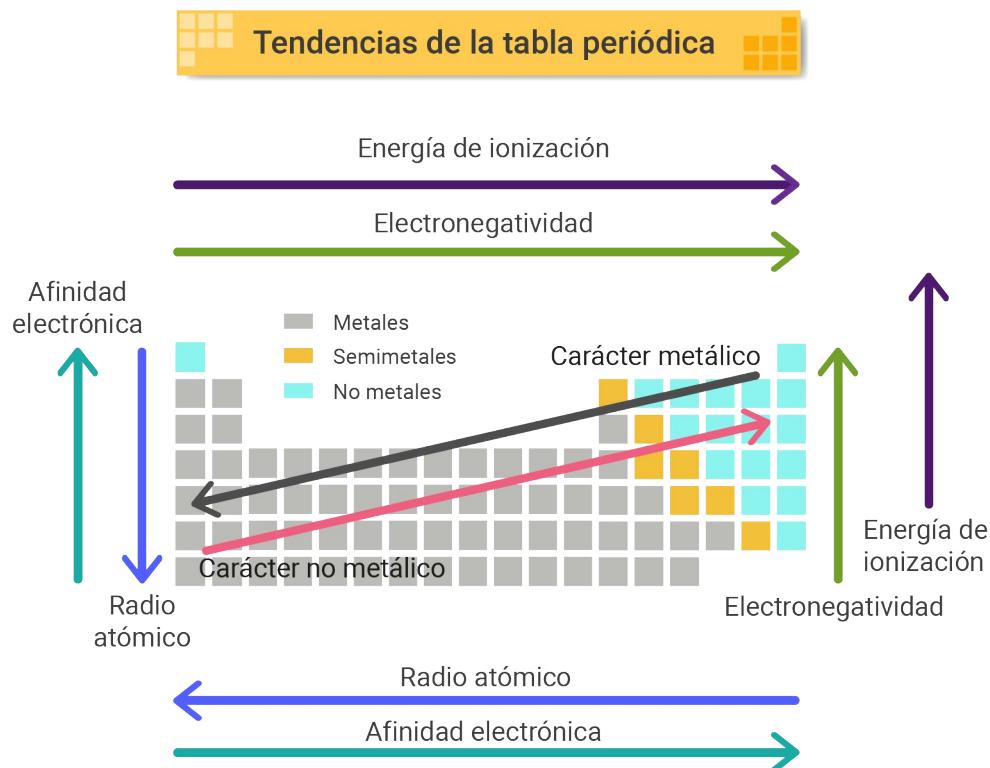
*Características de la energía de ionización*

| Energía de ionización | Tendencia del elemento                  | Tipo de compuesto |
|-----------------------|---|-------------------|
| Baja                  | Perder electrones y dar iones positivos | Iónicos           |
| Elevada               | Compartir electrones                    | Covalentes        |
| Muy elevada           | Ganar electrones y dar iones negativos  | Iónicos           |

Nota. Potencial de ionización

**Figura 3.**

*Direccionalidad de la energía de ionización en la tabla periódica*



## 2.6. Electronegatividad

En esta sección, empiezo recomendándoles el siguiente video de [Electronegatividad](#) donde se puede conocer las bases conceptuales fundamentales de esta temática, como por ejemplo, ¿cómo es la distribución de la electronegatividad en la tabla periódica? ¿Qué me indica la electronegatividad?

De forma sintética, a continuación, les menciono lo más destacable a manera de resumen. White (2000), establece que la **electronegatividad** cuantifica la tendencia de un elemento a atraer un electrón compartido cuando se une a otro elemento. Está afectada por la masa atómica y por la distancia promedio de los electrones de valencia con respecto al núcleo atómico. Los valores de electronegatividad determinan el tipo de enlace que se formará en la molécula que los combina. La propiedad equivalente de la electronegatividad para un átomo aislado sería la afinidad electrónica, que se entiende como la energía cedida en reacciones como:  $F + e^- \rightarrow F^-$

La electronegatividad varía en la tabla periódica de tal forma que aumenta de izquierda a derecha en un periodo, y disminuye a lo largo de una columna (figura 4). Por ejemplo, F tiene una electronegatividad más alta (3.8) que la de H (2.5).

## 2.7. Radiactividad

Les recomiendo que lean el capítulo VIII denominado *El átomo se desintegra. Urano y radio* del autor Alexandre Fersman (1945) donde se profundiza en la temática, sin embargo, en esta sección les menciono lo más destacable.

La **radiactividad** es la propiedad de los átomos de descomponerse espontáneamente, convirtiéndose en átomos de otros elementos, con desprendimiento de enormes cantidades de energía, en forma de diferentes radiaciones. Genera diferentes tipos de radiación como partículas alfa, rayos beta y gama, neutrones, positrones, etc., esta radiación es **radiación ionizante** porque remueve electrones de átomos o moléculas, formando iones. Las radiaciones que no realizan este proceso son las **radiaciones no ionizantes** (luz visible, luz infrarroja, luz ultravioleta, microondas y ondas de radiofrecuencia). En la tabla 7 se observan las características de las diferentes radiaciones.

**Tabla 7.***Principales tipos de radiaciones ionizantes*

| <b>Tipo de radiación</b>     | <b>Naturaleza</b>   | <b>Efectos</b>  |
|------------------------------|---|---|
| Partículas alfa ( $\alpha$ ) | Es una doble carga positiva que lleva un núcleo de helio ( $^{24}He^{2+}$ ) liberada espontáneamente de un elemento radioactivo de alta masa atómica.<br><br>Tiene poder de penetración bajo.                                   | Tiene riesgos interiores.                               |
| Partículas beta ( $\beta$ )  | Es una partícula cargada negativamente, equivalente a un electrón ( $-10e^-$ o $-10\beta^-$ ).<br><br>La partícula beta cargada positivamente se llama positrón ( $\beta^+$ )   | Causa quemaduras. Presenta riesgos externos e internos. |
| Rayos gama ( $\gamma$ )      | Son rayos de alta energía, muy penetrantes, que siempre se producen con la fisión.<br><br>Se protege de ellos con materiales muy densos, como planchas de plomo.<br><br>Se emite desde el núcleo.                               | Presenta peligro tanto externo como interno             |
| Rayos X                      | Se trata de una radiación de alta energía, altamente penetrante.<br><br>Su origen se encuentra en los electrones de los orbitales externos de un átomo.<br><br>Se producen por la aceleración repentina de partículas cargadas. | Plantea altos riesgos externos.                         |

Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2007)

De forma adicional les recomiendo que revisen el capítulo 8 Conceptos básicos de química nuclear de Sawyer et al. (2001) donde se describe a profundidad las características principales de los diferentes tipos de radiaciones.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, con la finalidad de reforzar las temáticas analizadas, les recomiendo que realicen las siguientes actividades:

1. ¿Qué son los isótopos?
2. Consultar los isótopos del oxígeno, hidrógeno y carbono
3. ¿Qué es radioactividad?

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 2, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 2.



## Autoevaluación 2

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de opción múltiple con una respuesta

1. Seleccione la opción correcta del elemento que cabría esperar la energía de ionización más pequeña:
  - a. Entre el B y O, es el B.
  - b. Entre el B y O, es el O.
  
2. Seleccione la opción correcta del elemento que cabría esperar la energía de ionización más pequeña:
  - a. Entre el Li y Cs, es el Li.
  - b. Entre el Li y Cs, es el Cs.
  
3. Indica el número de grupo y el número de electrones de valencia del F:
  - a. VIII A, ocho electrones de valencia.
  - b. IV A, cuatro electrones de valencia.
  - c. II A, dos electrones de valencia.
  - d. VII A, siete electrones de valencia.
  
4. Indica el número de grupo y el número de electrones de valencia del Mg:
  - a. VIII A, ocho electrones de valencia.
  - b. IV A, cuatro electrones de valencia.
  - c. II A, dos electrones de valencia.
  - d. VII A, siete electrones de valencia.
  
5. Indica el número de grupo y el número de electrones de valencia del C:
  - a. VIII A, ocho electrones de valencia.
  - b. IV A, cuatro electrones de valencia.
  - c. II A, dos electrones de valencia.
  - d. VII A, siete electrones de valencia.

6. Indica el número de grupo y el número de electrones de valencia del Ar:
- a. VIII A, ocho electrones de valencia.
  - b. IV A, cuatro electrones de valencia.
  - c. II A, dos electrones de valencia.
  - d. VII A, siete electrones de valencia.
7. ( ) La energía de ionización es la energía que aumenta dentro de cada periodo de elementos.
8. ¿Qué familia de elementos tiene las primeras energías de ionización más grandes?
- a. Alcalinos.
  - b. Térreos.
  - c. Carbonoides.
  - d. Gases nobles.
9. Predice qué elemento es de esperar que tenga la primera energía de ionización más pequeña:
- a. Mg
  - b. S
10. Predice qué elemento es de esperar que tenga la primera energía de ionización más pequeña:
- a. F
  - b. Li

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 3. Elementos geoquímicos en la naturaleza

En esta unidad debemos recordar algunos conceptos de química general, porque los necesitaremos para entender a profundidad las características de los elementos químicos presentes en la corteza terrestre.

### 3.1. Elementos de la tabla periódica frecuentes en la corteza terrestre

La corteza terrestre está conformada por varias decenas de elementos químicos, quince de ellos son relativamente frecuentes y habituales, pues toman parte en la composición de casi todas las rocas (Fersman, 1945).

Continuemos con el aprendizaje mediante la revisión de los elementos de la naturaleza.

#### [Elementos en la naturaleza](#)

### 3.2. Elementos raros dispersos

Algunos de los elementos más raros originan grandes concentraciones, formando depósitos minerales en yacimientos. Sin embargo, otros, como el oro o platino, forman granos diminutos casi imperceptibles, pero en todos los casos constituyendo minerales propios. Por otra parte, hay ciertos elementos muy escasos en la corteza terrestre que se hallan disueltos en otros minerales más comunes, por eso se denominan elementos dispersos. Estos elementos son el galio, indio, talio, cadmio, germanio, selenio, telurio, renio, rubidio, cesio, radio, escandio y hafnio, entre otros (Fersman, 1945).

### 3.3. Elementos químicos en la ecósfera

En el capítulo 4, Elementos químicos en el medio ambiente del autor Dickson (1998), establece que la ecósfera está compuesta por cuatro regiones definidas en el ambiente terrestre:

- **La litósfera:** que es la corteza rocosa y montañosa.
- **La atmósfera:** que son los gases circundantes que rodean la Tierra.
- **La hidrósfera:** es el agua de los cuerpos hídricos, del hielo y nieve, las nubes y la humedad de la atmósfera.
- **La biósfera:** donde habitan las diferentes plantas y animales.

Los componentes de la litósfera, hidrósfera y atmósfera se entremezclan, por ejemplo, la atmósfera contiene vapor de agua y polvo; la hidrósfera gases disueltos y partículas de litósfera; y las aguas de la hidrósfera cubren y se introducen en la litósfera. Las actividades antrópicas han afectado las composiciones y los equilibrios naturales de las subesferas.

En la tabla 8, se muestra los porcentajes en masa de los 18 elementos que constituyen el 99.5% de la litósfera, atmósfera, hidrósfera y biósfera.

**Tabla 8.**

*Porcentaje en masa de los elementos en la ecósfera*

| Elementos | Porcentajes | Elementos | Porcentajes | Elementos       | Porcentajes |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------------|-------------|
| Oxígeno   | 49.20       | Magnesio  | 1.93        | Azufre          | 0.06        |
| Silicio   | 25.67       | Hidrógeno | 0.87        | Bario           | 0.04        |
| Aluminio  | 7.5         | Titanio   | 0.58        | Flúor           | 0.03        |
| Hierro    | 4.71        | Cloro     | 0.19        | Nitrógeno       | 0.03        |
| Calcio    | 3.39        | Fósforo   | 0.11        |                 |             |
| Sodio     | 2.63        | Manganeso | 0.09        | Otros elementos | 0.47        |
| Potasio   | 2.40        | Carbón    | 0.09        |                 |             |

Nota. Tomado de Dickson (1998)

Como se observa en la tabla, podemos destacar que:

- En cuanto a la litósfera que está constituida por roca y tierra contiene combinaciones de silicio, oxígeno, aluminio y otros metales.
- La hidrósfera se compone de hidrógeno y oxígeno combinados para formar agua, no obstante, en el agua del mar también existen muchos elementos disueltos, como cloruro de sodio, magnesio y bromo.
- La biósfera está compuesta por carbono, oxígeno, hidrógeno, y otros elementos, como nitrógeno, azufre y fósforo.
- La atmósfera es más densa cerca de la superficie terrestre. A continuación vamos a conocer sus capas.

## Capas de la atmósfera



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, respondan las siguientes preguntas, pueden emplear el texto de Alexandr Fersman (1945).

1. ¿Por qué el estaño, siendo un metal pesado, no se hunde en la masa magmática fundida, como ocurre con otros metales pesados, sino que tiende a elevarse y ocupar la parte alta del macizo granítico?
2. ¿Por qué el yodo se encuentra en todos los sitios?
3. ¿Qué es el sial?

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 3, es hora de evaluarnos, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 3.



## Autoevaluación 3

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero

1. El carbono es el componente principal de la arcilla.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
  
2. La cantidad de carbono existente en la Tierra no es muy elevada, constituye el 1% del peso de la corteza terrestre.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
  
3. El azufre determina el crecimiento de los huesos y el desarrollo normal de las células de la médula ósea.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
  
4. El potasio, el sodio y el calcio son extraídos por las raíces de las plantas.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
  
5. El oro se añade en las aleaciones del hierro para conferirle mayor dureza, tenacidad y estabilidad.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
  
6. El sial es la abreviatura de los elementos oro, plata y cobre.
  - a. Verdadero
  - b. Falso

7. El oro se caracteriza por su peso específico.
- a. Verdadero  
b. Falso
8. El yodo se distribuye y acumula únicamente en el continente europeo.
- a. Verdadero  
b. Falso
9. El estroncio no se emplea en la actividad industrial.
- a. Verdadero  
b. Falso
10. El estroncio es uno de los átomos más móviles y enérgicos del universo.
- a. Verdadero  
b. Falso

[Ir al solucionario](#)



### Unidad 4. Geoquímica de isótopos

---

En esta unidad profundizaremos en la temática de los isótopos, qué son, para qué se usan, cómo se deben emplear, etc., para ello les recomiendo que lean el capítulo 8 y 9 de la obra de White (2001) donde se explica a detalle las diferencias de la geoquímica del isótopo radiogénico y estable.

#### 4.1. Desintegración radiactiva

Quizás al escuchar isótopos radiactivos suena un término muy complejo, pero en este apartado veremos cuál es su importancia y para qué se emplean. Conoceremos que la desintegración radiactiva nos proporciona los trazadores naturales de los procesos geológicos y proporciona información sobre las velocidades y caminos seguidos por la evolución geológica. La naturaleza nos proporciona estos trazadores en forma de isótopos radiactivos que son producto de la radiactividad natural y estos trazadores se han estado moviendo a través de la Tierra desde su origen.

Según White (2001), los núcleos con número par de protones y neutrones son más estables que aquellos con números impares, además de ser núcleos más comunes. Por otra parte, la desintegración se clasifica en gamma, alfa y beta. Les recomiendo que vean el siguiente video donde se explican las características principales de [Desintegración radiactiva y tipos de radiaciones nucleares](#).

##### 4.1.1. Desintegración gamma

Un rayo gamma consiste en un fotón emitido a través de la desintegración de núcleos inestables o en términos más simples un rayo gamma es un fotón de alta energía. Este proceso ocurre cuando un núcleo excitado se desintegra a un estado más estable.

##### 4.1.2. Desintegración alfa

Una partícula alfa es un núcleo de helio, y cuando esta partícula se emite disminuye la masa del núcleo por la masa de la partícula más una masa equivalente a la energía perdida durante la desintegración, que incluye la

energía cinética de la partícula alfa, el núcleo restante y cualquier rayo gamma emitido.

#### 4.1.3. Desintegración beta

Es un proceso en el que cambia la carga de un núcleo, pero no el número de nucleones. La desintegración beta da como resultado la emisión de un electrón o positrón. Esta desintegración involucra la fuerza nuclear débil que transforma una partícula neutra en una cargada y viceversa.

### 4.2. Geoquímica de los isótopos radiactivos

En el siguiente video podemos ver los tipos de isótopos estables o inestables (radiactivos) [Isótopos estables e inestables](#). Específicamente, la desintegración radiactiva tiene interés geológico, la utilidad e importancia depende del comportamiento geoquímico del original (padre) y derivado (hijo), la vida media y la abundancia del original.

#### 4.2.1. Sistemas de desintegración y sus aplicaciones

Existen varios sistemas empleados en la geocronología y en la obra de White (2001), se citan a profundidad cada uno de ellos en la Tabla 9.

**Tabla 9.**

*Sistemas de desintegración*

| Sistemas de desintegración | Características  |
|----------------------------|--|
| Rb-Sr                      | Este sistema fue uno de los primeros y sigue siendo muy empleado como trazador geoquímico. Una ventaja importante del sistema son las variaciones relativamente grandes de la proporción Rb/Sr en las rocas, debido a la diferencia en las propiedades geoquímicas de los dos elementos. El Rb es altamente soluble y muy incompatible, mientras, que el Sr es relativamente soluble y bastante incompatible en sistemas máficos, pero es compatible en sistemas ígneos ricos en sílice. |
| Sm-Nd                      | Se produce el Nd143 por la desintegración alfa del Sm147. Este sistema es opuesto al Rb-Sr. La proporción Sm-Nd del manto es más alta que la de la corteza y por consiguiente la proporción es más alta en el manto que en la corteza, y las rocas ígneas siliceas son relativamente uniformes haciendo inadecuado a este sistema para datar dichas rocas, sin embargo, es adecuado para las rocas máficas y ultramáficas.   |
| Lu-Hf                      | Este sistema es similar al Sm-Nd. Los elementos están relativamente inmóviles.   |

| Sistemas de desintegración | Características  |
|----------------------------|--|
| Re-Os                      | El Re <sup>187</sup> se desintegra a Os <sup>187</sup> por desintegración beta con una vida media de 42 mil millones de años.  |
| La-Ce                      | El La <sup>138</sup> es un isótopo bastante raro (impar-impar) y el Ce <sup>138</sup> es un isótopo traza del Ce. El inconveniente que surge es analizar un isótopo muy raro en presencia de uno muy común, además, el Ba <sup>138</sup> es un isótopo pesado muy abundante y puede interferir en el análisis. |

Nota. Tomado de White (2001)

Es importante recalcar que cada sistema tiene unas características puntuales que deben diferenciarlas.

#### 4.2.2. Cosmogenia e isótopos fósiles

Según White (2001), la Tierra constantemente es bombardeada por rayos cósmicos, son núcleos atómicos, principalmente H, despojados de sus electrones. Algunos se originan en el sol o en regiones de alta energía del cosmos como las supernovas. Se caracterizan porque tienen energía para estrellar un núcleo cuando se chocan con uno, por tanto, el núcleo se rompe en diversas partes en un proceso llamado espalación.

La intensidad de radiación cósmica incrementa a medida que se asciende en la atmósfera. Los efectos nucleares de la radiación cósmica son bastantes triviales, por ejemplo, el nitrógeno y oxígeno son principalmente afectados, pero no hay cambios significativos en las concentraciones isotópicas de estos elementos. La radiación cósmica es muy interesante debido a la producción de nucleidos cuyas vidas medias son cortas. Los nucleidos son creados directamente a través de la espalación ( $\text{Be}^{10}$ ) o por reacciones nucleares con partículas producidas por espalación ( $\text{C}^{14}$ ,  $\text{N}^{14}$ ).

El método de datación más conocido de los nucleidos cosmogénicos, es el  $\text{C}^{14}$  que es empleado en la datación de eventos arqueológicos, climatológicos, volcanológicos, sismológicos, paleontológicos, etc., de una edad en torno a los 40,000 años.

#### 4.3. Geoquímica de los isótopos estables

La geoquímica del isótopo estable trata de las variaciones de las composiciones isotópicas de elementos que surgen de los procesos físico químicos en lugar de procesos nucleares. Los elementos que se estudian

son H, Li, B, C, N, O, Si, S y Cl, sin embargo, los de mayor interés son O, H, C y S. La mayoría de estos elementos tienen ciertas características en común:

- Tienen masa atómica baja.
- La diferencia de masa relativa entre sus isótopos es grande.
- Forman enlaces con un grado alto de carácter covalente.
- Los elementos que existen en más de un estado de oxidación (C, N y S) forman una variedad amplia de compuestos (O).
- La abundancia del isótopo raro es lo suficientemente alta para facilitar el análisis.

A continuación, veremos algunos de los principales usos de este tipo de isótopos.

#### 4.3.1. Geotermometría de los isótopos

La geotermometría de isótopos estables se basa en la dependencia de la temperatura de la constante de equilibrio, además, recordemos que la entropía de un sistema aumenta con la temperatura, por tanto, a temperatura infinita hay un desorden completo y se podrían mezclar al azar los isótopos entre las fases.

Debido a la dependencia de la constante de equilibrio con el inverso del cuadrado de la temperatura, la geotermometría del isótopo estable está empleada para las temperaturas bajas, es decir, no es pertinente para temperaturas magmáticas (por encima de los 800°C) (White, 2001).

#### 4.3.2. Fraccionamiento isotópico de sistemas biológicos

Los procesos biológicos involucran grandes fraccionamientos isotópicos, ejemplos de ello son el C, N y S. Los fraccionamientos más grandes ocurren durante la producción inicial de materia orgánica por los productores primarios o autótrofos (plantas y bacterias). El medio más importante de producción de materia orgánica es la fotosíntesis, pero también se puede hablar de las aberturas hidrotermales.

Las diferencias en la composición isotópica del nitrógeno y del carbono de varios comestibles y la preservación de estas proporciones isotópicas en el colágeno de los huesos proporcionan medios para determinar qué comieron los pueblos antiguos. Esta temática les recomiendo que profundicen en el capítulo 9 Isótopos estables de White (2001).

### **4.3.3. Paleoclimatología**

Conocemos la dependencia de la temperatura del fraccionamiento isotópico del oxígeno entre el carbonato de calcio y el agua. Por lo tanto, la composición isotópica de los carbonatos pueda usarse como paleotermómetro donde se determina la dependencia de la temperatura con el fraccionamiento entre la calcita y el agua.

### **4.3.4. Sistemas hidrotermales y yacimientos**

Cuando se instruyen masas ígneas en los niveles altos de la corteza, calienta la roca circundante y el agua en las grietas y poros de esta roca originando sistemas de transmisión. El agua en estos sistemas hidrotermales reacciona con la roca caliente y sufre intercambio isotópico. El resultado es que el agua y la roca cambian entre sí las composiciones isotópicas.



#### **Actividades de aprendizaje recomendadas**

Estimados estudiantes, respondan las siguientes preguntas. Puede emplear el texto de White (2001).

1. Consulte un caso donde se haya empleado un sistema de desintegración para actividades de geocronología.
2. Consulte un caso puntual de aplicación de C14 a un análisis geocronológico.

Una vez que ha culminado de revisar la Unidad 4, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la Autoevaluación 4.



## Autoevaluación 4

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero

1. La desintegración radiactiva proporciona trazadores naturales que nos ayudan a conocer sobre los procesos geológicos.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
2. Los trazadores naturales son los isótopos radiactivos producto de la radiactividad natural.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
3. Los núcleos con número impar de protones y neutrones son más estables que aquellos con números pares, además de ser núcleos más comunes.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
4. En la desintegración se clasifica: desintegración gamma, alfa y beta.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
5. Un sistema de desintegración de isótopos radiactivos es Rb-Sr.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
6. ¿La Tierra recibe rayos cósmicos?
  - a. Verdadero
  - b. Falso

7. Los efectos nucleares de la radiación cósmica son importantes porque producen cambios significativos en las concentraciones isotópicas de los elementos.
- a. Verdadero  
b. Falso
8. Los nucleidos se crean de la espalación.
- a. Verdadero  
b. Falso
9. Los isótopos estables surgen de procesos nucleares.
- a. Verdadero  
b. Falso
10. Un ejemplo representativo del fraccionamiento isotópico de sistemas biológicos es la fotosíntesis.
- a. Verdadero  
b. Falso

[Ir al solucionario](#)



### Unidad 5. Ciclos biogeoquímicos

---

En esta unidad aprenderemos cuál es la importancia de los ciclos biogeoquímicos y veremos cuáles son los más relevantes. Les recomiendo que lean el Capítulo 7.4 Ciclos biogeoquímicos del texto de Ibáñez et al., (2013).

#### 5.1. Ciclo biogeoquímico

Sabemos que los seres vivos requieren energía de los alimentos para realizar sus funciones vitales (elementos biogenéticos) como son:

- Nutrientes esenciales: Carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo.
- Elementos menores: Magnesio, potasio, sodio y halógenos.
- Elementos traza: Boro, cobalto, cobre, molibdeno, níquel, selenio, estaño, vanadio y zinc.

Los ciclos biogeoquímicos sirven para movilizar los elementos a través de los organismos y de las matrices ambientales. Cuando se analiza un elemento puntual, las diferentes formas químicas constituyen los reservorios, y se debe considerar su tamaño y si son reciclados activamente (Ibáñez et al., 2013).

#### 5.2. Tipos de ciclos

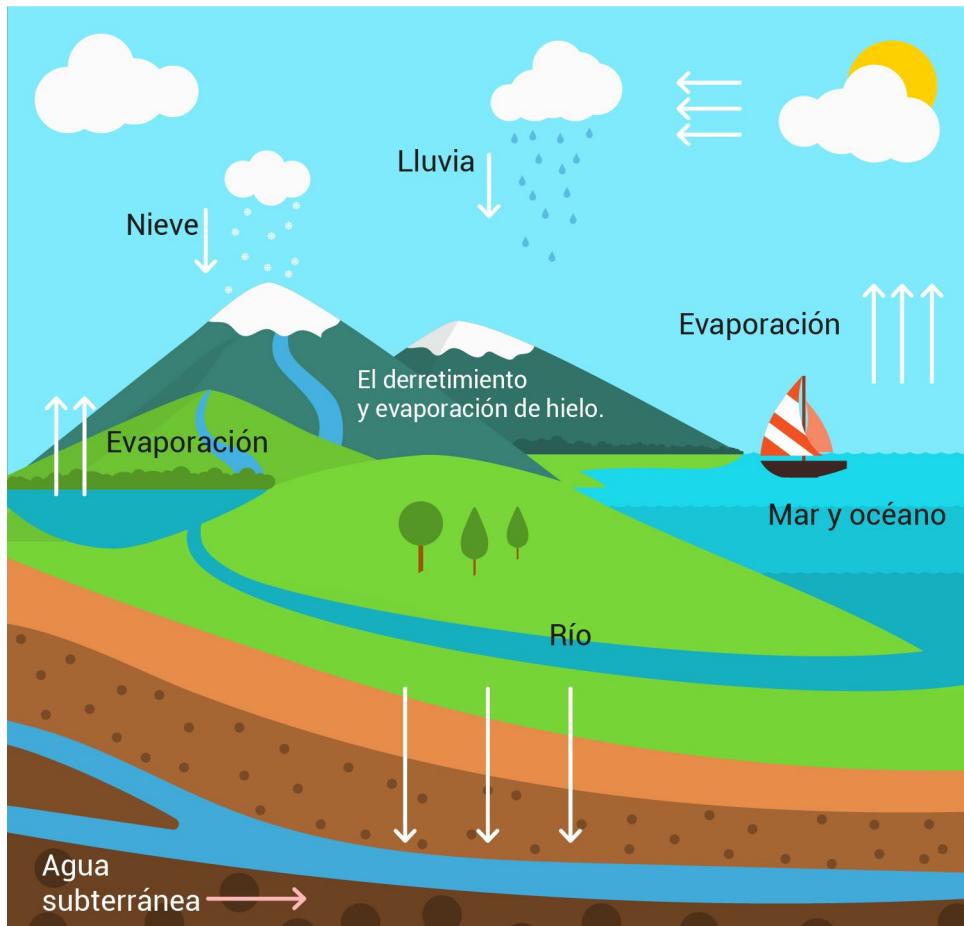
En los siguientes ítems, veremos cada uno de los ciclos principales:

##### 5.2.1. Ciclo del agua

El agua es el líquido más abundante en la naturaleza, y se lo encuentra en los tres estados de la materia dentro de un pequeño rango de temperatura y presión en la Tierra. Químicamente el agua está conformada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

En el ciclo del agua (Figura 4), el agua en estado líquido se evapora por acción del sol y se mezcla con el aire, después se condensa formando nubes a tal punto que provoca la precipitación. Cuando el agua se encuentra en estado sólido (hielo, nieve o granizo) estas superficies reflejan la luz del sol conocido como albedo que permite mantener una temperatura equilibrada en el planeta (Ibáñez et al., 2013).

**Figura 4.**  
*Ciclo del agua*

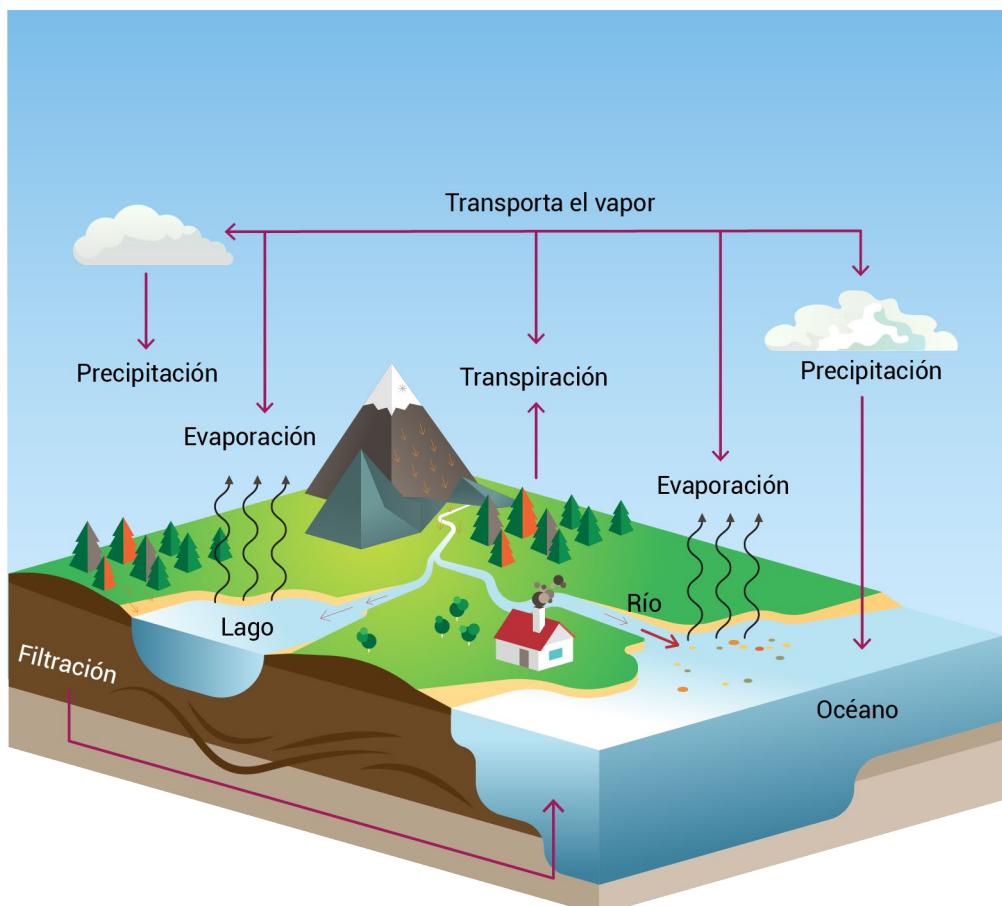


Nota. veernavya | vecteezy.com

## 5.2.2. Ciclo del hidrógeno

El mayor depósito de hidrógeno se encuentra en el agua debido a la fotosíntesis y a la respiración. En el ciclo del hidrógeno (Figura 5), el H<sub>2</sub> es producido durante fermentaciones anaerobias y es subproducto de la fotosíntesis.

**Figura 5.**  
*Ciclo del hidrógeno*



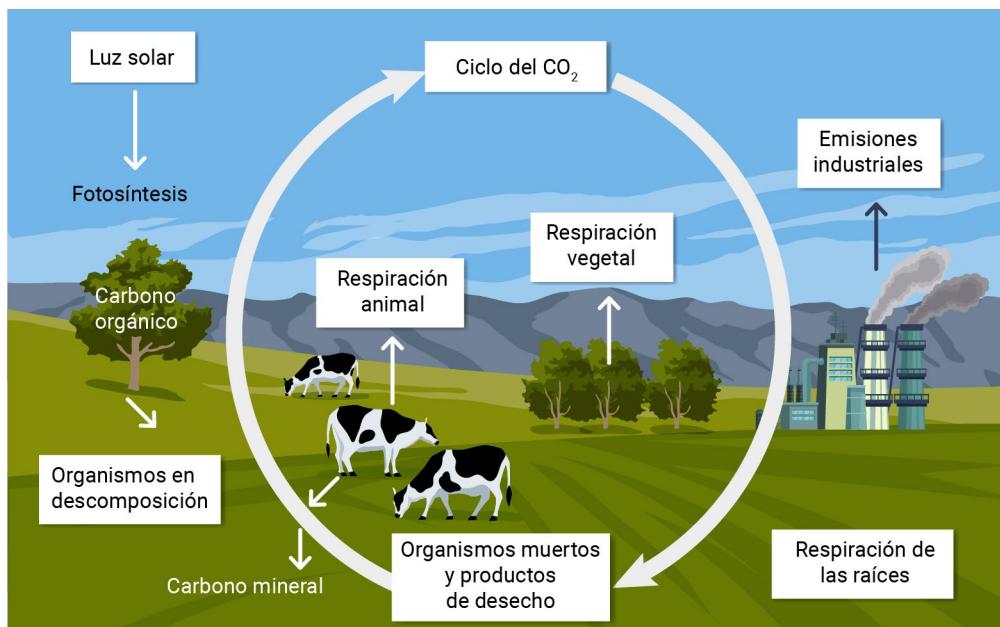
Nota. Muhammed Karatas | shutterstock.com

### 5.2.3. Ciclo del carbono

En el ciclo del carbono (figura 6), el depósito de carbono que se recicla más es el CO<sub>2</sub> atmosférico. El CO<sub>2</sub> se disuelve en agua, y se puede precipitar como carbonato de calcio. En este ciclo es trascendental la respiración, donde toma los carbohidratos y el oxígeno y los combina para producir CO<sub>2</sub>, agua y energía, mientras, que la fotosíntesis toma CO<sub>2</sub> y agua y produce carbohidratos y oxígeno (Ibáñez et al., 2013).

Les recomiendo que revisen el ejemplo que está descrito en la página 191 de Ibáñez et al., (2013).

**Figura 6.**  
*Ciclo del carbono*

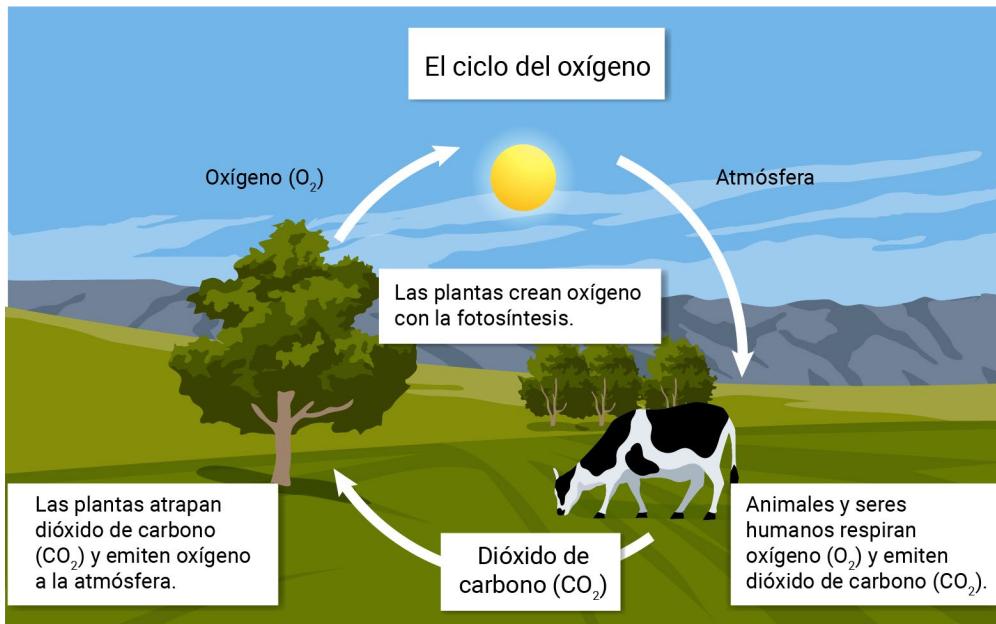


Nota. Elaboración propia

### 5.2.4. Ciclo del oxígeno

El ciclo del oxígeno (Figura 7) está muy relacionado con el ciclo del carbono porque estos átomos se combinan frecuentemente. El oxígeno es liberado del agua a través de la fotosíntesis. El oxígeno combinado con Fe, Mn, y en sulfatos disueltos y sedimentarios está en mayor cantidad que el oxígeno presente en la atmósfera. Los depósitos más grandes de oxígeno que se recicla se encuentran en el oxígeno atmosférico y el oxígeno disuelto en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Ibáñez et al., 2013).

**Figura 7.**  
*Ciclo del oxígeno*

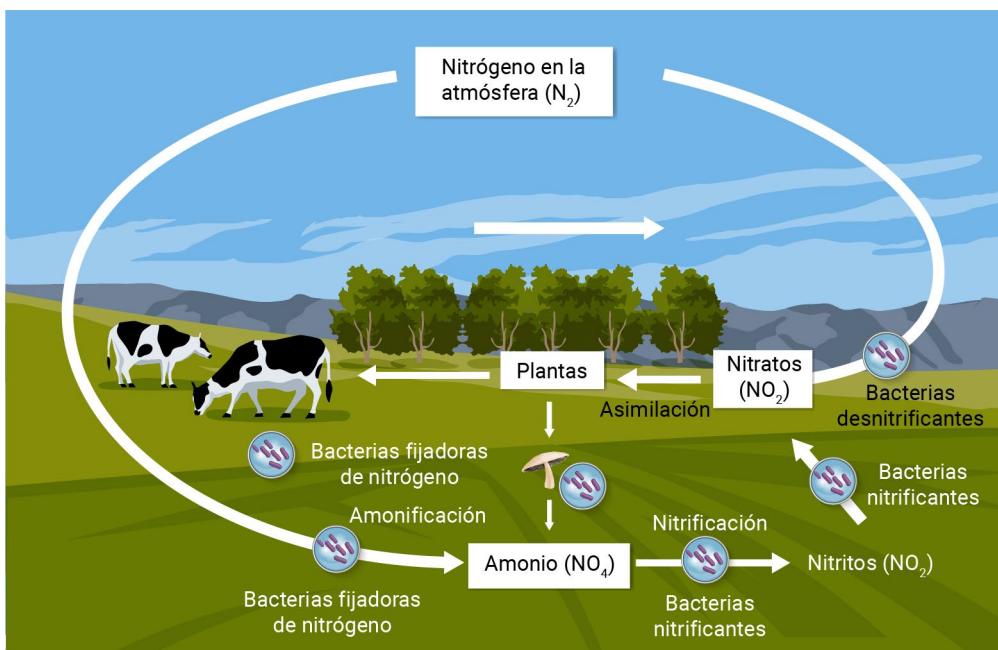


Nota. Elaboración propia

### 5.2.5. Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno tiene varios estados de oxidación y forma parte de aminoácidos, ácidos nucleicos y polímeros. Un gran depósito de nitrógeno que se recicla lentamente es el gas  $\text{N}_2$  contenido en la atmósfera. El ciclo biogeoquímico del nitrógeno (figura 8) depende en gran medida de la actividad microbiana. Finalmente, el ciclo del nitrógeno incluye varios procesos que son: fijación, amonificación, nitrificación y reducción de nitrato/ desnitrificación.

**Figura 8.**  
*Ciclo del nitrógeno*

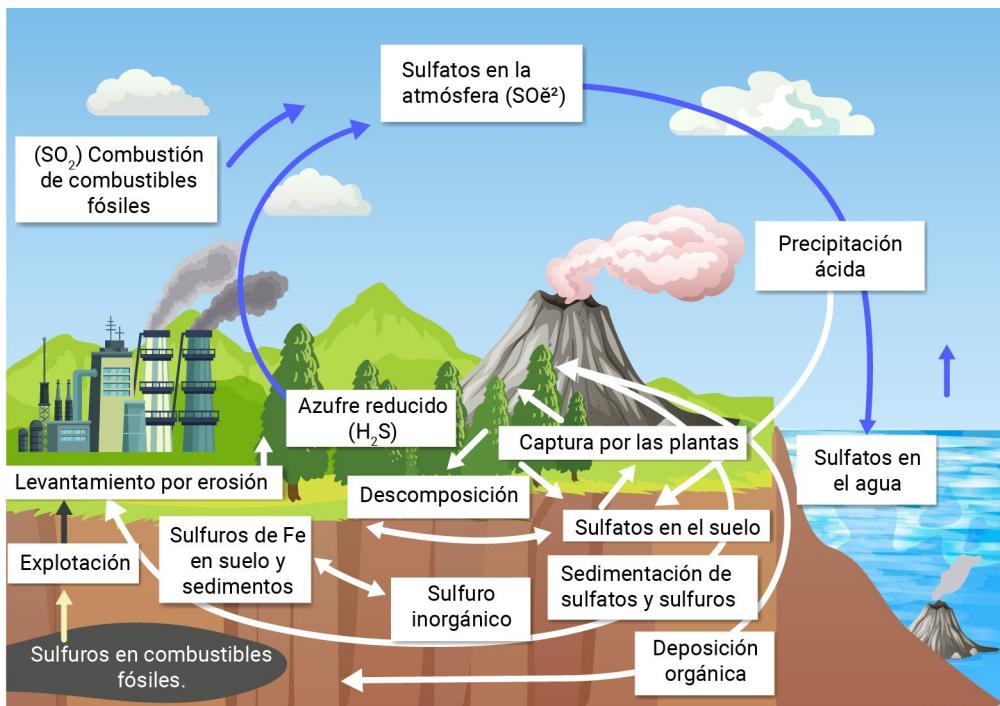


Nota. Elaboración propia

#### 5.2.6. Ciclo del azufre

El azufre se encuentra como grupos sulfhidrilo en aminoácidos y sus polímeros, pero en su estado completamente oxidado, el azufre existe en forma de sulfato. La materia orgánica viva y muerta constituye un depósito de azufre más pequeño y que se recicla rápidamente. Los depósitos de azufre son los sulfuros de metal en las rocas, depósitos de azufre elemental y combustibles fósiles (figura 9) (Ibáñez et al., 2013).

**Figura 9.**  
Ciclo del azufre



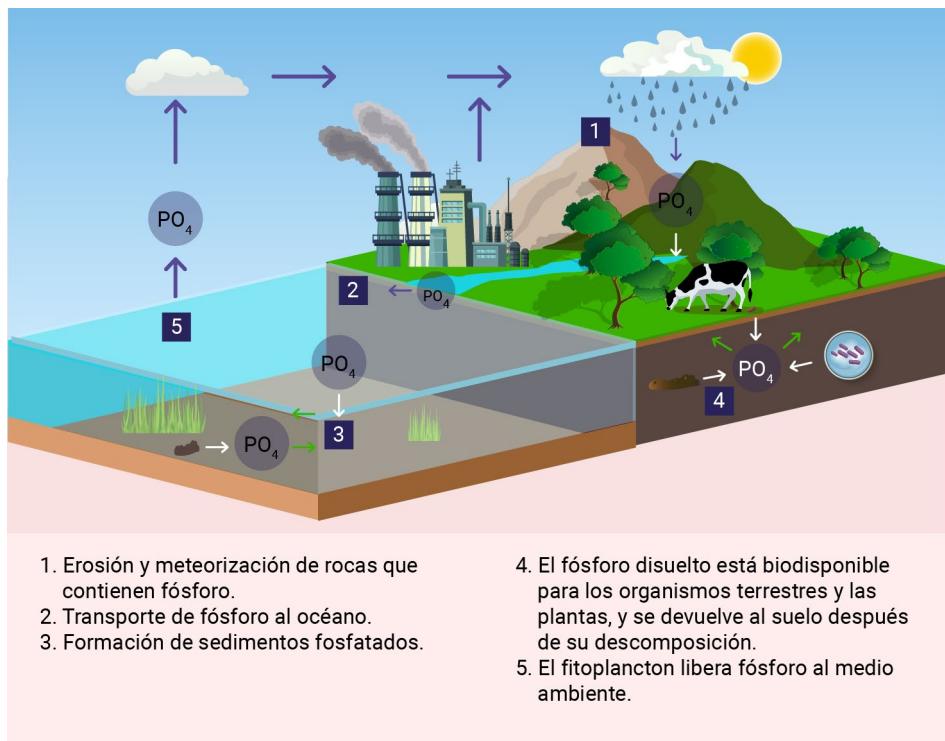
Nota. Elaboración propia

### 5.2.7. Ciclo del fósforo

El fósforo es fundamental para la vida y no es abundante en la biosfera. Hay dos formas de reciclar el fosfato (Figura 10), el **primero** de forma lenta mediante los sedimentos marinos y otros hábitats acuáticos, y, el **segundo** de forma activa que comprende el fosfato disuelto en suelos y aguas, así como el fosfato en la materia orgánica viva y muerta.

Los animales obtienen este elemento de las plantas que comen y cuando estos animales mueren o en la deposición, el fosfato regresa a la tierra por acción de los desintegradores. Este ciclo se produce continuamente hasta que el fósforo se almacena en el fondo oceánico (rocas sedimentarias). Sin embargo, las aves marinas toman peces del océano y regresan a tierra, donde defecan con un alto contenido de fósforo (Ibáñez et al., 2013).

**Figura 10.**  
*Ciclo del fósforo*

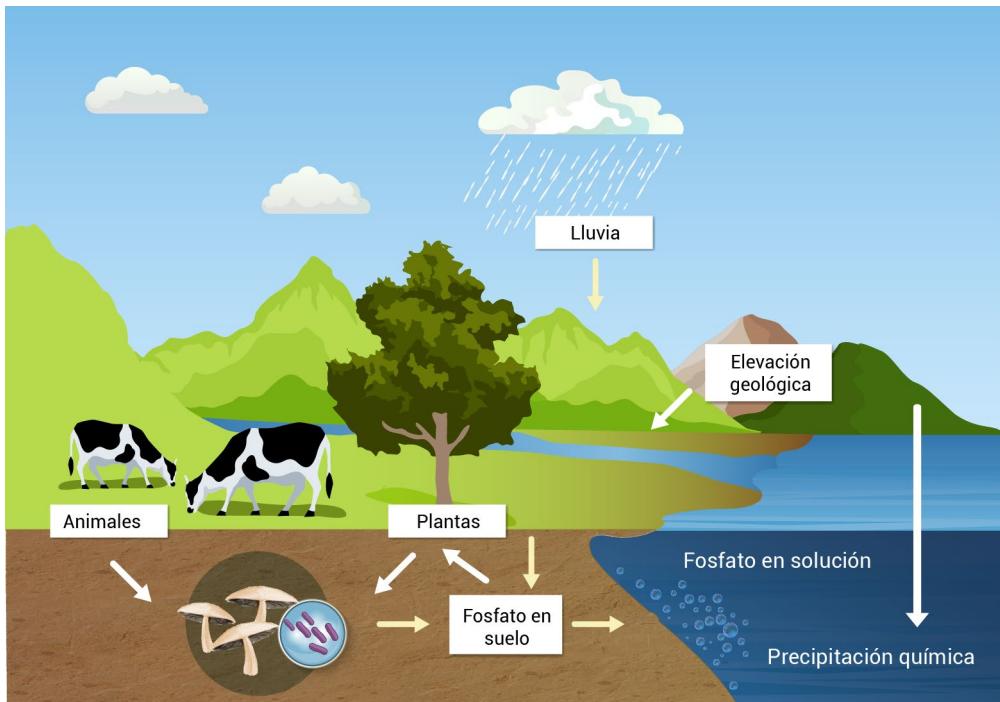


Nota. Elaboración propia

#### 5.2.8. Ciclo del hierro

El hierro es un elemento abundante pero sólo una parte está disponible en el ciclo biogeoquímico (figura 11). El ion férrico se precipita en ambientes neutros y alcalinos en forma de hidróxido férrico y en condiciones anaerobias puede ser reducido a la forma ferrosa más soluble. En los compuestos orgánicos, el hierro está unido con frecuencia a ligantes orgánicos por **quelación** (Ibáñez et al., 2013).

**Figura 11.**  
*Ciclo del hierro*

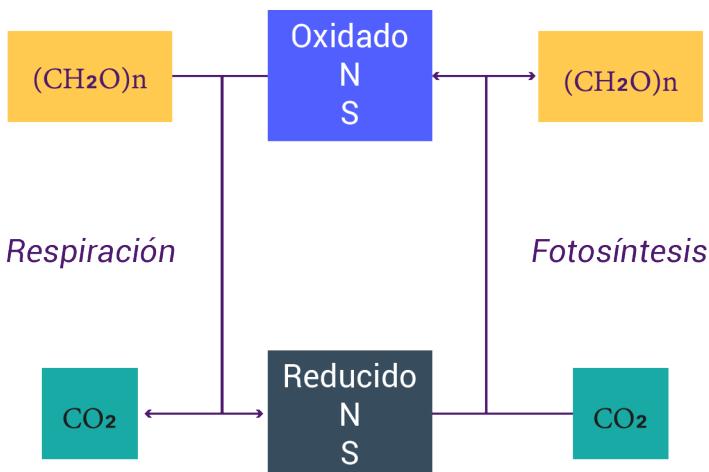


Nota. Elaboración propia

### 5.3. Interrelaciones entre los ciclos

Los ciclos biogeoquímicos se interrelacionan entre sí (figura 12). Los ciclos de carbono, hidrógeno y oxígeno son reciclados por la fotosíntesis y respiración. En el caso de nitrógeno, azufre y hierro dependen de la energía química que se fija en sustancias orgánicas durante la fotosíntesis (Ibáñez et al., 2013).

**Figura 12.**  
*Interrelación entre ciclos*



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, realicen las siguientes actividades del texto Modelando el ciclo del agua de Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente (2018).

1. La actividad experimental que está en la página 51.
2. La actividad experimental de la página 45.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 5, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 5.



## Autoevaluación 5

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. Los elementos se clasifican en:
  - a. Elementos menores y elementos traza.
  - b. Nutrientes esenciales y elementos traza.
  - c. Nutrientes esenciales, elementos menores y elementos traza.
  - d. Ninguna de las anteriores.
  
2. En el ciclo del agua, el sol proporciona la energía que impulsa los sistemas meteorológicos y mueve el vapor de agua (nubes) de un lugar a otro.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
  
3. ¿Cómo se llama el proceso en el cual las plantas pierden agua por las hojas?
  - a. Infiltración.
  - b. Evaporación.
  - c. Transpiración.
  - d. Sublimación.
  
4. El depósito de carbono que se recicla más activamente es:
  - a. Carbonato de calcio.
  - b. CO<sub>2</sub> atmosférico.
  - c. Piedra caliza.
  
5. Las bacterias más eficientes que consumen hidrógeno pertenecen al género de:
  - a. Cianobacterias.
  - b. Alcaligenes.s
  - c. Rhizobium.

6. En el ciclo del carbono, se emplea como sustrato para la respiración a:
- Oxígeno.
  - Glucosa.
  - Carbohidratos.
7. El ciclo que está muy vinculado al ciclo del oxígeno porque sus átomos se combinan a menudo es:
- Ciclo de azufre.
  - Ciclo de nitrógeno.
  - Ciclo de carbono..
  - Ciclo de fósforo
8. El nitrógeno gaseoso es fijado de la atmósfera únicamente por cianobacterias fotosintéticas.
- Verdadero
  - Falso
9. La materia orgánica constituye el depósito de azufre más grande.
- Verdadero
  - Falso
10. Los nitratos se combinan con el calcio, los hacen insolubles y hace que no estén disponibles para las plantas y microorganismos.
- Verdadero
  - Falso

[Ir al solucionario](#)

Resultado de aprendizaje 2 | Conoce las propiedades físicas y químicas de los principales compuestos nocivos para el medio ambiente.

## Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje

Estimados estudiantes, en las unidades anteriores aprendimos sobre el origen y distribución de los elementos y minerales (geoquímica), pero a partir de esta unidad ustedes aprenderán a “conocer las propiedades físicas y químicas de los principales compuestos nocivos para el medio ambiente”, con la finalidad de entender la problemática ambiental.



### Semana 6

A partir de esta unidad veremos qué es la química ambiental y sus componentes, para ello, les recomiendo que revisen el libro de Ibáñez et al. (2013).

## Unidad 6. Química ambiental

Al escuchar el término química ambiental, nos planteamos algunas preguntas: ¿qué es química ambiental?, ¿por qué es importante la química ambiental?, y, ¿qué áreas están vinculadas a la química ambiental? Pues estas y más preguntas vamos a poder responder al profundizar en esta temática que se desarrolla en el capítulo 1 de Ibáñez et al. (2013).

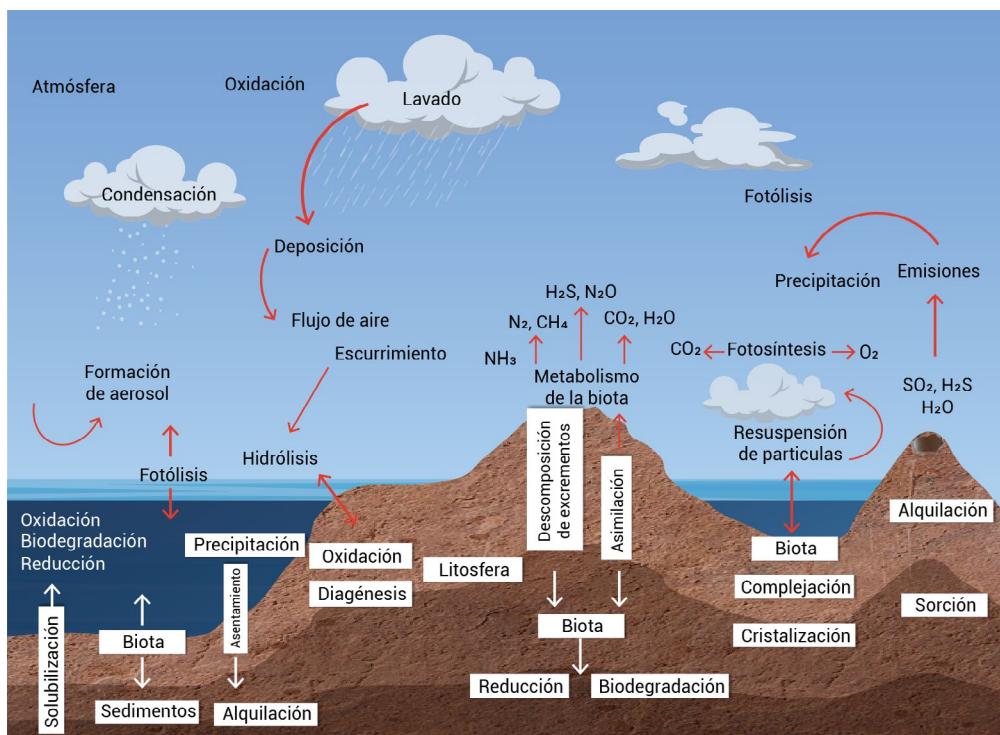
### 6.1. Química de los procesos naturales en la biosfera

Entendemos por química ambiental a las reacciones químicas que se dan en nuestro planeta, además, de las interacciones y procesos de sustancias introducidas por la actividad antropogénicas, compuestos naturales y organismos vivos.

Inicialmente, la química ambiental abarcaba solo los ciclos biogeoquímicos, las reacciones que afectan el crecimiento de plantas y los procesos que involucran formaciones y transformaciones geoquímicas, pero, posteriormente, se ampliaron más enfoques (figura 13).

**Figura 13.**

Reacciones y transporte de sustancias en el ambiente



Nota. Elaboración propia

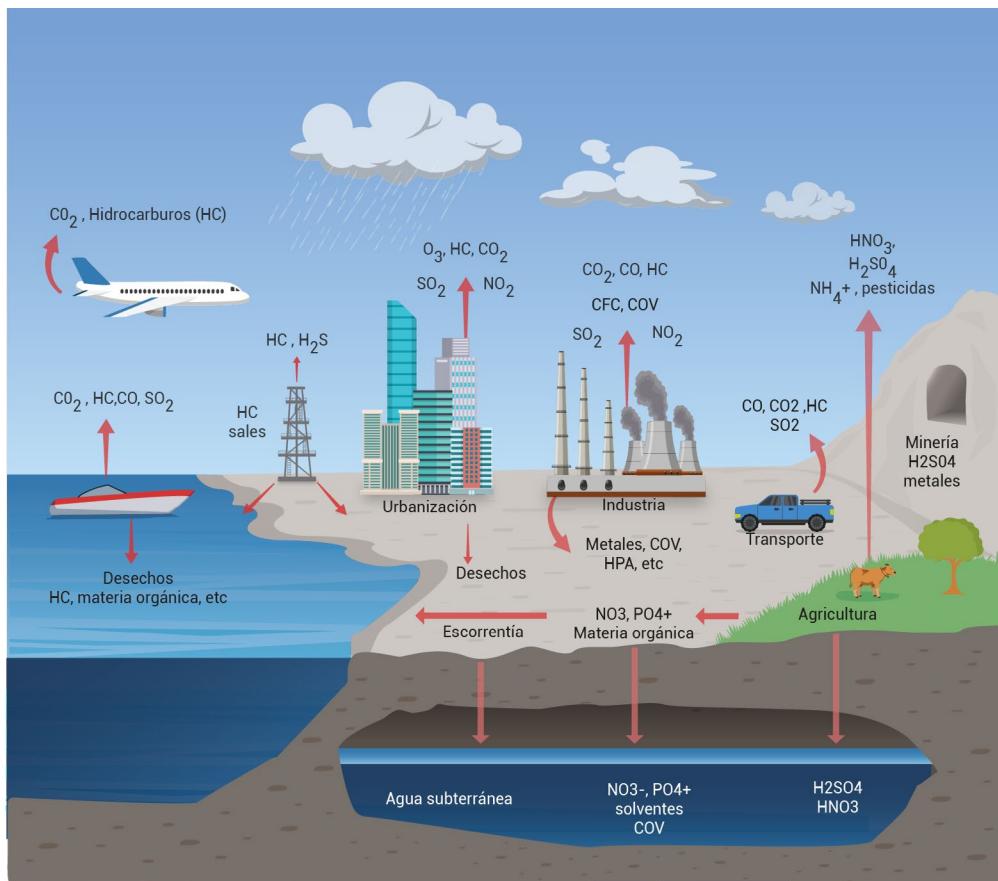
## 6.2. Química asociada con los procesos de contaminación

El ciclo natural de las especies químicas se ha alterado debido a la actividad humana (descarga de efluentes contaminados que no pueden ser asimilados) produciendo un impacto al ambiente y a la salud debido a las altas concentraciones de compuestos en las matrices ambientales y organismos.

Las exigencias humanas por mejorar su calidad de vida han provocado la generación e introducción de **sustancias xenobióticas** al ambiente desconociendo los efectos al ambiente y a la salud, conocida como la **Ley de las consecuencias ignoradas o inesperadas**. En la Figura 14 se observa la interferencia al ambiente ocasionada por las actividades humanas.

**Figura 14.**

Contribuciones de la actividad humana a la carga ambiental



Nota. Evlaboración propia

### 6.3. Química aplicada al análisis de contaminantes y compuestos naturales

Los parámetros que caracterizan el contaminante deben ser evaluados y se deben considerar el destino, transporte, biodisponibilidad, toxicidad y estabilidad o degradación de los químicos de la muestra. Además, es necesario que se conozcan las técnicas de muestreo de cada matriz ambiental, garantizando la representatividad, identificar y evitar las fuentes de contaminación de la muestra, etc.

## **6.4. Química aplicada al tratamiento y remediación ambiental**

La química ambiental se emplea en el tratamiento de las diferentes matrices ambientales con la finalidad de prevenir y reducir el impacto generado al ambiente. Además, ayuda en el proceso de transformación de desechos peligrosos en sustancias menos tóxicas (Ibáñez et al., 2013).

## **6.5. Química verde**

La química verde diseña reacciones, procesos o nuevos materiales que sean benignos para el ambiente. Además, es utilizada en la prevención de la contaminación y minimización de residuos. Algunas de las características puntuales que suelen tener son:

- Uso de materiales reciclables.
- Reducción o sustitución de reactivos nocivos utilizados en la industria.
- Reducción del consumo energético.



### **Actividades de aprendizaje recomendadas**

Estimados estudiantes, realicen las siguientes actividades:

1. Consulte un caso puntual de química verde.
2. Consulte un caso de remediación ambiental.
3. Consulte los países pioneros en química verde y en la industria química sustentable.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 6, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 6.



## Autoevaluación 6

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. La química ambiental únicamente se enfoca en las reacciones relacionadas con los ciclos biogeoquímicos.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
2. Las sustancias xenobióticas se encuentran de forma natural en el ambiente.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
3. La representatividad, es un aspecto fundamental del proceso de análisis de las muestras en el laboratorio.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
4. La restauración permite limpiar el sitio contaminado.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
5. Si tenemos un lugar contaminado con percloroetileno y tricloroetileno y oxidamos con permanganato de potasio, peróxido de hidrógeno u ozono, los productos finales serán  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Cl}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , que reaccionarán para producir  $\text{HClO}$  y  $\text{HCl}$ , más  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{MnO}_2$ , entonces podemos decir que es un proceso de:
  - a. Restauración.
  - b. Remediación.
  - c. Minimización.
  - d. Control.

6. La industria química tradicional emplea los procesos químicos verdes.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
7. Los procesos fotocatalíticos son utilizados en la química verde.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
8. La ley de consecuencias ignoradas o inesperadas se basa en desconocer los efectos de las sustancias xenobióticas al ambiente, y aún así emplear esas sustancias.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
9. Una característica de la química verde es apuntar a la reducción del consumo energético.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
10. Los ciclos biogequímicos se han alterado por la contaminación generada de la actividad humana.
  - a. Verdadero
  - b. Falso

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 7. Química de los procesos atmosféricos

Conociendo las bases de la química ambiental, ahora continuaremos con el análisis en cada matriz ambiental. Empezamos esta semana con la química en la matriz aire. Les recomiendo que lean el capítulo 4 de Ibáñez et al. (2013), donde se habla de la química atmosférica.

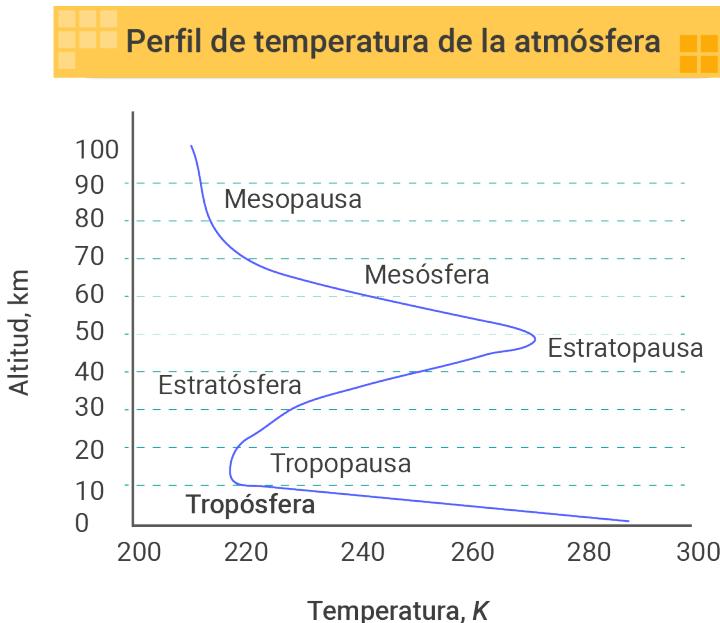
Adicionalmente, les recomiendo ver los siguientes videos que son muy necesarios para entender: [Química atmosférica - Parte 1](#), [Química atmosférica - Parte 2](#) y [Química atmosférica - Parte 3](#).

### 7.1. Aire

El aire es una mezcla gaseosa que permite el desarrollo de la vida en la Tierra. Sus principales componentes son: nitrógeno (78.1%), oxígeno molecular (20.9%) y argón (0.9%). Normalmente, también denominamos aire a la atmósfera, la cual es una capa de un fluido de baja densidad que rodea al planeta hasta los 100 kilómetros de altura. La atmósfera está compuesta por más capas y sufren la influencia de la temperatura y la presión (figura 15).

**Figura 15.**

Distribución de capas en la atmósfera



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

## 7.2. ¿Cómo se formó la atmósfera de la Tierra?

Hace 4.5 mil millones de años, la Tierra se formó a partir de material de la nebulosa gaseosa solar, y los elementos más pesados (Ni y Fe) comenzaron a hundirse por debajo de los más ligeros (Si). Los gases más ligeros (metano, amoniaco e hidrógeno) fueron capturados por la Tierra donde formaron su primera atmósfera (Ibáñez et al., 2013).

## 7.3. Componentes de la atmósfera

En química atmosférica hay dos maneras de expresar la cantidad (o masa) de una sustancia que son:

- **La concentración:** es la cantidad de una sustancia en un volumen dado.
- **La proporción de mezcla:** es la relación entre la cantidad de una sustancia en un volumen dado, en referencia a la cantidad de todos los componentes del aire en ese volumen.

Para conocer las concentraciones de los gases que conforman la atmósfera, les recomiendo que lean la Tabla 4.1 proporciones de mezcla de algunos gases atmosféricos importantes de Ibáñez et al. (2013), que está en la página 102. Además, la composición de la atmósfera se considera en equilibrio porque algunos componentes se encuentran en estado estacionario, así podemos ver el tiempo de residencia de los componentes del aire en la Tabla 4.2 de Ibáñez et al. (2013) en la página 104. Finalmente, si queremos conocer de dónde vienen los componentes de la atmósfera, tenemos los siguientes orígenes:

- **Geogénico:** actividades de la corteza terrestre sin la participación de organismos vivos (actividad volcánica).
- **Biogénico:** actividad biológica que produce o consume químicos.
- **Antropogénico:** químicos producidos por la actividad humana (lluvia ácida).

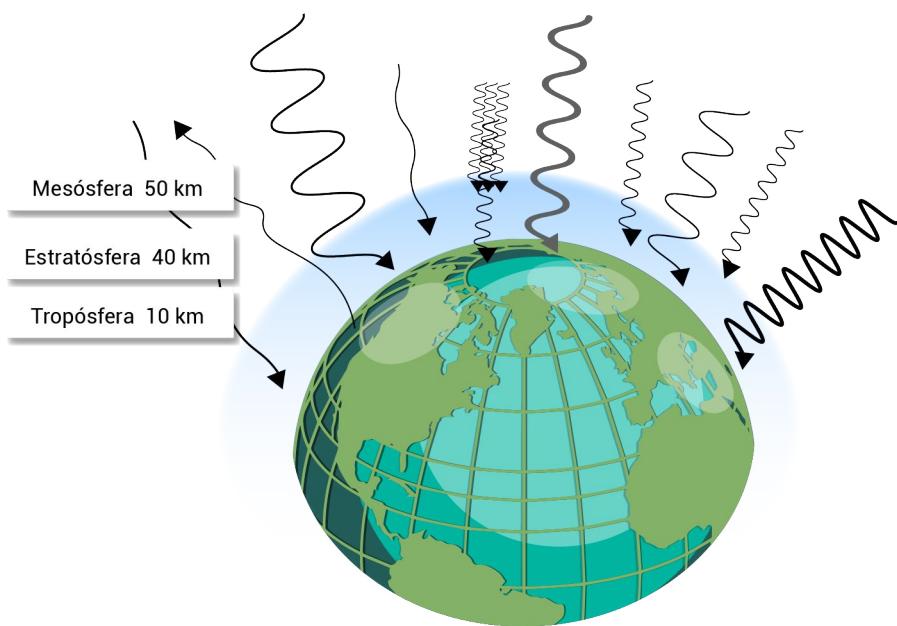
## 7.4. Química troposférica

En la atmósfera hay una gran concentración de oxígeno molecular, sin embargo, no es la ruta principal de oxidación de componentes traza, sino que durante el día es el radical libre hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ). En el texto de Ibáñez et al. (2013) se ejemplifica con la oxidación del metano.

## 7.5. Principios físicos del efecto invernadero

Si realizamos los cálculos correspondientes podremos observar que la Tierra no tiene un estado estacionario térmico, es decir, que el flujo de energía recibida del Sol no es igual a la energía emitida por la Tierra. La diferencia de temperatura detectada en el análisis realizado por Ibáñez et al. (2013) página 106, se atribuye al **efecto invernadero** donde parte de la radiación emitida (región infrarroja) (figura 16) es absorbida por los **gases de efecto invernadero (GEI)** que son: vapor de agua, dióxido de carbono, óxido nitroso, metano, CFC, y  $\text{SF}_6$ .

**Figura 16.**  
*Radiaciones de entrada y salida de la Tierra*



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

Otra característica fundamental es que siempre le damos mayor importancia al dióxido de carbono, sin embargo, si nos fijamos en la eficiencia que tiene cada componente en el efecto invernadero, la preocupación sería diferente (tabla 10).

**Tabla 10.**  
*Eficiencia de gases frente al efecto invernadero*

| Componente                                | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | CFC-11 | CFC-12 |
|---|-----------------|-----------------|------------------|--------|--------|
| Eficiencia<br>invernadero<br>por molécula | 1               | 21              | 206              | 12400  | 15800  |

Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

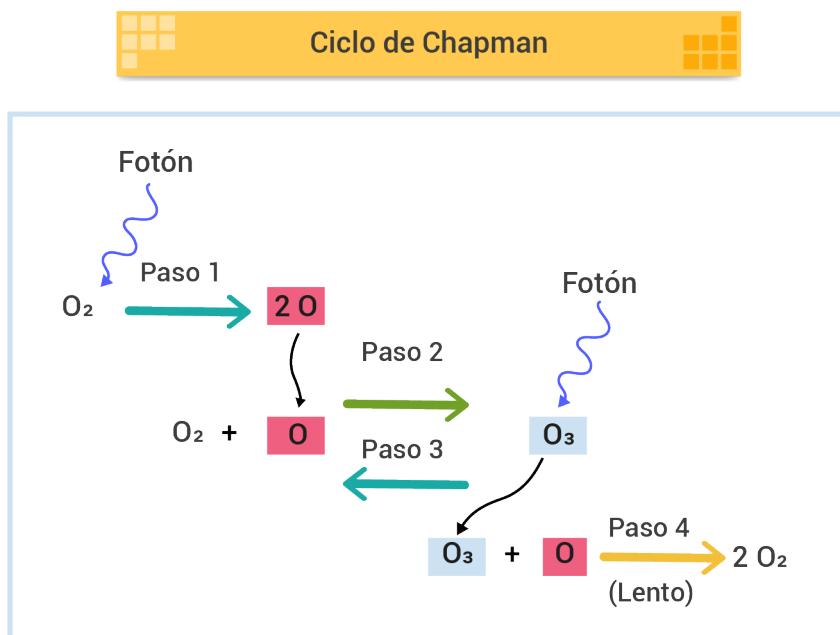
## 7.6. Química estratosférica

El ozono estratosférico protege a la vida en la superficie terrestre ya que funciona como una pantalla ante la luz UV dañina procedente del Sol, a través de un mecanismo de fotodisociación. Así, el ozono absorbe la luz UV sin ser consumido; el resultado neto es la transformación de la radiación

UV a calor, es por ello que la temperatura aumenta con la altura de la estratosfera, dando lugar a la capa de inversión que atrapa a las moléculas en la tropósfera.

El ozono se consume cuando un átomo de O· choca con una molécula de O<sub>3</sub>. Esta reacción es lenta y si fuera el único mecanismo de pérdida de ozono, entonces la capa de ozono sería mucho más gruesa de lo que en realidad es. Sin embargo, las reacciones de Chapman explican la química estratosférica de formación y destrucción del ozono (figura 17).

**Figura 17.**  
*Reacciones de Chapman*



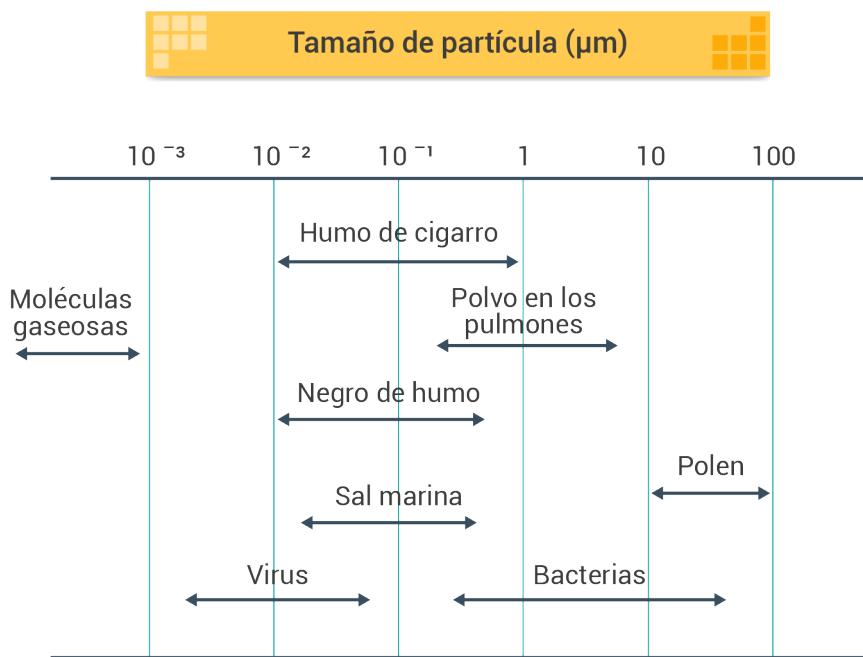
Nota. Google imágenes

## 7.7. Aerosoles

En la atmósfera, a parte de los gases, también tenemos partículas (sólidas y líquidas) conocidas como aerosoles y sus tamaños varían desde micrómetros hasta milímetros. Algunos ejemplos, son la sal de mar, el polvo y las emisiones volcánicas que son fuentes naturales de aerosoles (figura 18).

**Figura 18.**

Tamaño de las partículas presentes en la atmósfera



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, les recomiendo que vean el siguiente video [Química atmosférica: la atmósfera actual](#) donde pueden reforzar los contenidos de química atmosférica.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 7, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 7.



## Autoevaluación 7

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. ¿Cuál es el gas del aire que permite la vida en la Tierra?
  - a. Metano.
  - b. Hidrógeno.
  - c. Oxígeno.
  - d. Carbono.
2. Las principales capas de interés de la atmósfera son:
  - a. Mesósfera y estratósfera.
  - b. Tropósfera y estratósfera.
  - c. Tropósfera y mesósfera.
3. En qué capa se genera el clima en la Tierra
  - a. Mesósfera.
  - b. Tropósfera.
  - c. Estratósfera.
4. En qué capa se tiene la máxima temperatura
  - a. Atmósfera.
  - b. Tropósfera.
  - c. Estratopausa.
5. El transporte de químicos de la tropósfera a la estratósfera agota la capa de ozono; por el contrario, el transporte hacia abajo, desde la estratósfera, incrementa la cantidad de ozono en la tropósfera.
  - a. Verdadero
  - b. Falso

6. El oxígeno molecular formaba parte de los componentes de la atmósfera primitiva.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
7. Los componentes de la atmósfera pueden ser de origen:
  - a. Geogénico, antropogénico.
  - b. Antropogénico, biogénico.
  - c. Geogénico, antropogénico y biogénico.
8. El dióxido de carbono y el metano tienen la misma eficiencia frente al efecto invernadero.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
9. Los aerosoles alteran el proceso radiativo de la Tierra.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
10. Las ecuaciones de formación y destrucción del ozono se llama:
  - a. Reacciones de Faraday.
  - b. Reacciones de Chapman.
  - c. Reacciones de inversión térmica.

[Ir al solucionario](#)



## Semana 8

---

Estimados estudiantes, en esta semana realicen la revisión y afirmación de todo lo aprendido para el desarrollo de la evaluación del primer bimestre que abarca todas las unidades didácticas vistas hasta el momento.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, les recomiendo que revisen los capítulos del 1 al 7 de la guía didáctica virtualizada, y los capítulos de los textos complementarios que se han descrito para cada unidad.



## Segundo Bimestre



### Semana 9

---

A partir de aquí, empezamos con el estudio de la química de forma específica para cada una de las matrices ambientales. Hoy iniciamos con la química de los procesos en la hidrósfera. Para ello, les recomiendo que observen estos tres videos que son realmente importantes: [Química de ecosistemas acuáticos - Parte 1](#), [Química de ecosistemas acuáticos - Parte 2](#) y [Química de ecosistemas acuáticos - Parte 3](#).

### **Unidad 8. Química de los procesos en la hidrósfera**

---

Como sabemos el agua es fundamental para el desarrollo de la vida ya que forma parte del 70 al 90% del peso de los organismos vivos y cubre las tres cuartas partes de la Tierra.

#### **8.1. Aguas naturales: Tipos y composición**

La molécula de agua es  $H_2O$  y está combinada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Es una molécula angular que se caracteriza por su alta electronegatividad. El agua se encuentra en el ambiente en los tres estados de la materia, en forma de vapor y de humedad (atmósfera), líquida (lluvia, ríos, lagos, mares, océanos y agua subterránea) y sólido (glaciares, hielo, granizo y nieve).

##### **8.1.1. Procesos que afectan la composición del agua**

La composición del agua depende del entorno geológico (geoquímica del manto rocoso), de la disolución y de las reacciones químicas del agua, ocasionado por el intemperizado, el clima y los procesos biogeoquímicos de la zona. Además, tenemos que identificar las características puntuales de cada tipo de agua que se presenta en la infografía.

[Tipos de agua](#)

## 8.2. Interacciones del agua con aire y sedimentos: efectos químicos sobre los organismos acuáticos

### 8.2.1. Disolución de gases y acidificación de aguas naturales

Los gases del aire se disuelven en el agua para alcanzar el equilibrio, pero la cantidad disuelta depende de temperatura del agua, presión parcial en la atmósfera, presión de vapor, cantidad de sales disueltas y capacidad del agua de absorber o reaccionar con cada gas. Además, en la Tabla 11, se observan las principales fuentes de los gases.

**Tabla 11.**

Fuentes principales de gases presentes en aguas naturales

| Fuente/gas   | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | N <sub>2</sub> O / NO | N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | CH <sub>4</sub> |
|--|-----------------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------|------------------|-----------------|
| Aire   | X               | X              |                 | X                     | X              |                  |                 |
| Descomposición biológica (aerobia)   | X               |                | X               | X                     | X              | X                | X               |
| y anaerobiosis de materia orgánica   |                 |                |                 |                       |                |                  |                 |
| Producción de gases a partir de la corteza de la Tierra o de la acción volcánica |                 | X              |                 |                       |                | X                |                 |
| Reacciones fotosintéticas  | X               | X              |                 |                       |                |                  |                 |

Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

#### ▪ Ley de Henry

Esta ley regula los gases que se encuentran disueltos en pequeñas cantidades y establece:

**La solubilidad de un gas que no reacciona en el agua a temperatura constante, es directamente proporcional a la presión parcial,  $\rho_i$  de ese gas sobre el líquido**

$$M_{i,w} = \text{constante} * \rho_i = K_{H,i} * \rho_i \text{ (moles L}^{-1}\text{)}$$

M<sub>i,w</sub> es la concentración molar del gas en solución acuosa, y K<sub>H,i</sub> es la constante de la Ley de Henry (mol/L\*atm) y ρ<sub>i</sub> (atmósferas). Los valores de la constante la pueden encontrar en la Tabla 6.9 de Ibáñez et al. (2013).

- **Oxígeno disuelto en agua**

Las aguas que tienen un buen nivel de oxígeno son aguas de buena calidad. Se necesita un mínimo de 2 – 4 mg/L de oxígeno disuelto. Las fuentes de ingreso del oxígeno son el aire y los procesos fotosintéticos de la flora acuática durante las horas de luz del día.

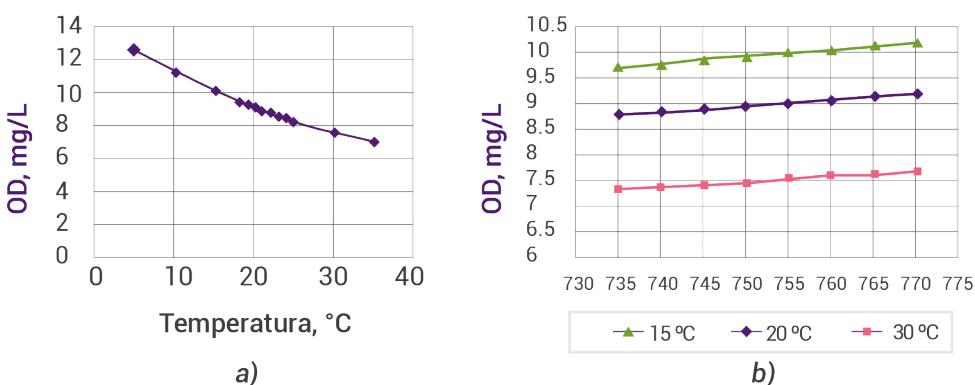
Cuando el oxígeno disuelto se agota, los organismos aerobios mueren y crecen los anaerobios, por tanto, el agua adquiere otras características como: un color oscuro, liberación de olores desagradables y burbujas de gas ( $H_2S$ ,  $CO_2$  y  $CH_4$ ) y abundan los mosquitos. Los parámetros que afectan el oxígeno disuelto en el agua son la temperatura ambiente (a altas temperaturas se volatiliza el oxígeno), presión y salinidad del agua o contenido de sales disueltas (figura 19).

**Se puede calcular los mg/L de oxígeno en agua dulce a 1 atm, en función de la temperatura (en Celsius) es:**

$$O_2 \text{ disuelto (mg/L)} = 0.033 * T^2 - 0.3201 * T + 14.258$$

**Figura 19.**

Efecto del oxígeno disuelto con a) la temperatura b) la presión



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

- Disolución del  $CO_2$  en agua

Las fuentes del  $CO_2$  en el agua son la disolución del aire, producción y disolución por procesos fotosintéticos, aerobios dentro del agua, anaerobios en los sedimentos y emisiones subterráneas volcánicas.

## **8.2.2. Interacción entre agua y sedimentos/suelo**

Las principales interacciones entre el agua y el suelo son: la disolución, precipitación, intemperizado, etc.

## **8.3. Procesos fisicoquímicos en los sistemas acuáticos**

Los procesos fisicoquímicos (intemperizado, adsorción, intercambio iónico, procesos redox y precipitación) son los responsables de la presencia de compuestos en las aguas.

### **8.3.1. Procesos químicos en sistemas acuáticos**

El intemperizado ayuda a la presencia de compuestos en el agua. Los iones y compuestos formados o extraídos de minerales y suelo se filtran hacia los cuerpos hídricos cambiando su composición original.

#### **Procesos químicos en sistemas acústicos**

### **8.3.2. Eliminación natural de especies en sistemas acuosos por procesos físicos y químicos**

Hay varias vías para la eliminación de materiales inorgánicos y orgánicos en el agua; les recomiendo que lean las páginas 166 a 172 de Ibáñez et al. (2013) porque se ejemplifican casos como:

- Sorción en sedimentos coloidales, suspendidos o asentados.
- Intercambio iónico en sedimentos y en materia coloidal y suspensión acuosa.
- Reacciones de precipitación y coprecipitación.
- Procesos de solidificación y deposición debidos a la evaporación.
- Transporte coloidal y de sedimentos en aguas superficiales.
- Volatilización de compuestos orgánicos e inorgánicos.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, realicen las siguientes actividades con la ayuda del texto de Ibáñez et al. (2013).

1. Revisar el ejemplo resuelto de la Ley de Henry que está en la página 147.
2. Revisar el ejemplo resuelto de oxígeno disuelto que está en la página 148.
3. Revisar el ejemplo resuelto de alcalinidad que está en la página 156.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 8, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 8.



## Autoevaluación 8

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. ¿Cómo se llaman los enlaces intermoleculares que conforman las moléculas de agua forma?
  - a. Fuerzas dipolo – dipolo.
  - b. Fuerzas de dispersión.
  - c. Puente de hidrógeno.
  - d. Fuerzas de London.
2. ¿En qué sección se estima que hay un mayor tiempo de residencia del agua?:
  - a. Biósfera.
  - b. Atmósfera.
  - c. Ríos.
  - d. Humedad del suelo.
  - e. Pantanos.
  - f. Lagos y depósitos.
  - g. Glaciares y casquetes polares.
  - h. Mares y océanos.
  - i. Agua subterránea.
3. La composición del agua depende de:
  - a. La naturaleza geoquímica del manto rocoso.
  - b. Los regímenes de intemperizado.
  - c. Las condiciones climáticas del ambiente.
  - d. Los procesos biogeoquímicos que tienen lugar en la zona.
  - e. La química de los componentes del manto rocoso.
  - f. Todas las anteriores.

4. El principal componente disuelto que se encuentra en el agua de ríos es:
- a.  $\text{HCO}_3^-$
  - b.  $\text{Ca}^{2+}$
  - c.  $\text{Cl}^-$
  - d.  $\text{Na}^+$
  - e.  $\text{K}^+$
  - f.  $\text{SiO}_2$
5. Los lagos están estratificados, sin embargo, cuando nos referimos al estrato más superficial, nos referimos a:
- a. Epilimnion.
  - b. Hipolimnion.
  - c. Termoclina.
6. ¿Qué porcentaje de agua total de la Tierra constituye el agua subterránea?
- a. 10%
  - b. 5%
  - c. 1%
  - d. 3%
  - e. <1%
7. El principal ion que define la salinidad en el agua del océano es:
- a.  $\text{Ca}^{2+}$
  - b.  $\text{Na}^+$
  - c.  $\text{Cl}^-$
  - d.  $\text{K}^+$
  - e.  $\text{F}^-$
8. ¿Agua salobre es el agua salada de los mares y océanos?
- a. Verdadero
  - b. Falso

9. El oxígeno disuelto en el agua se ve afectada por:
- Temperatura ambiente.
  - Presión.
  - Salinidad del agua.
  - Contenido de sales disueltas.
  - Todas las anteriores.
10. ¿Cuáles son las fuentes de ingreso del dióxido de carbono en el agua?
- Emisiones subterráneas volcánicas como respiraderos volcánicos.
  - Disolución del aire.
  - Producción y disolución a partir de procesos fotosintéticos en ausencia de luz.
  - Procesos aerobios que tienen lugar dentro del principal cuerpo del agua.
  - Procesos anaerobios de los sedimentos del fondo del cuerpo del agua.
  - Todas las anteriores.

[Ir al solucionario](#)



### Unidad 9. Procesos bioquímicos naturales y organismos en la biosfera

En esta unidad abarcaremos procesos bioquímicos llevados a cabo por diferentes organismos

#### 9.1. Clasificación de los seres vivos

Según Ibáñez et al. (2013), todos los seres vivos se caracterizan porque tienen movimiento, crecimiento, alimentación y reproducción. La clasificación taxonómica fue establecida por **Carlos Linneo** que dividió dos reinos: animal (animalia) y vegetal (plantae), y, propuso un sistema para la nomenclatura de los organismos: una genérica (género) y otra específica (especie) con una clasificación de cinco categorías (especie, género, orden, clase y reino).

Posteriormente, se descubrieron las células eucariota y procariota, lo cual dio lugar a la identificación de otros reinos. **Whittaker** dividió a los seres vivos en cinco reinos: Monera, Protista, Fungi, Plantae y Animalia (Tabla 12 y Figura 20).

**Tabla 12.**  
*Clasificación general de los organismos*

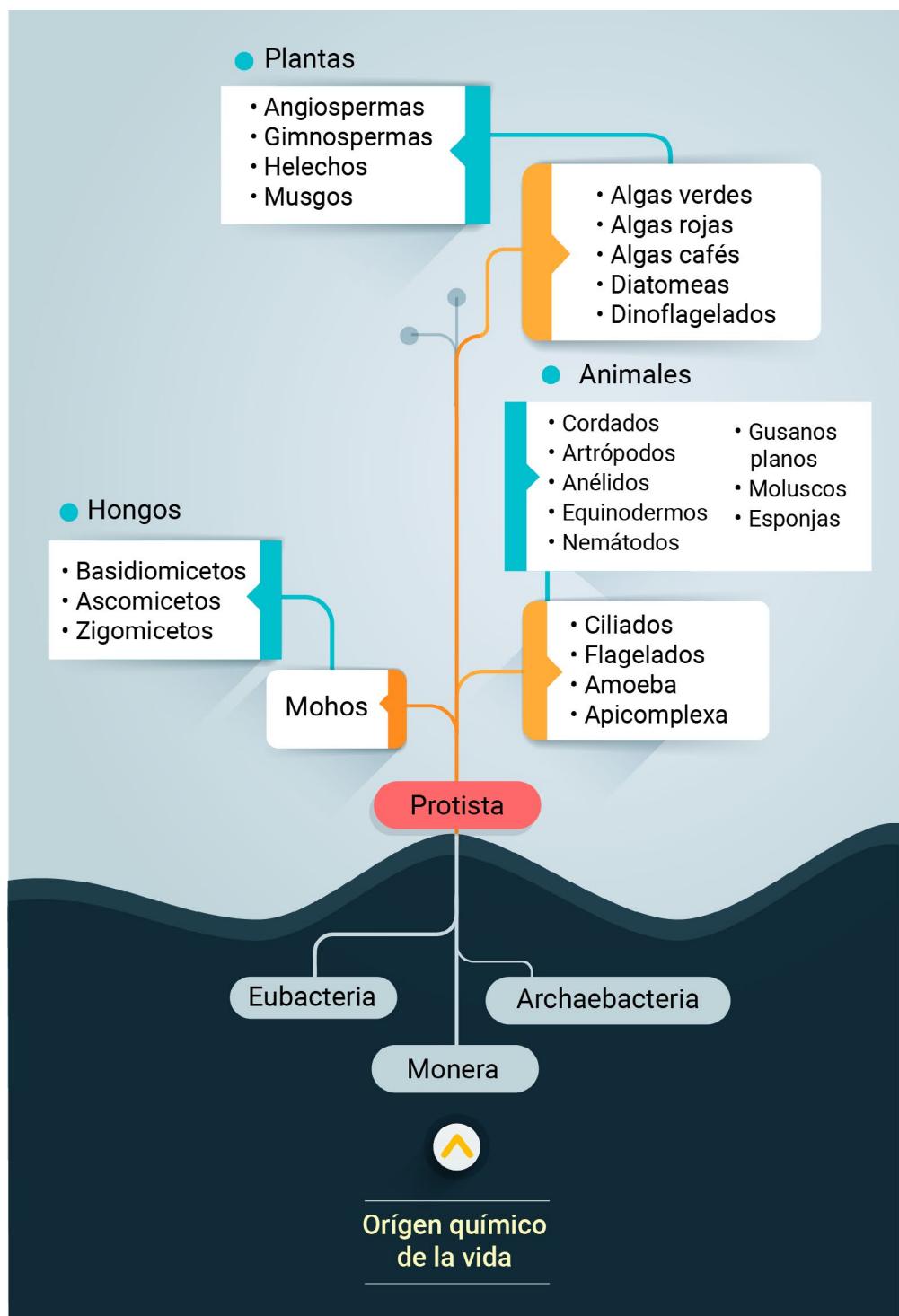
| Tipo de célula | Características  | Tipo de organismo  | Reino    |
|----------------|--|--------------------|----------|
| Acarionte      | No tiene organización celular  | Virus              |          |
| Procarionte    | Unicelular, filamentosa, colonial o micelial.<br>Anaerobia, aerobia, anaerobia-facultativa.<br>Microaerófila o aerotolerante. Reproducción asexual. Pared celular (con algunas excepciones). | Bacterias y archea | Monera   |
| Eucarionte     | Unicelular. Más de un cromosoma por célula. Nutrición heterótrofa o fotoautótrofa.<br>Reproducción sexual o asexual.   | Protista           | Protista |
|                | Multicelular, filamentosa (micelial) compuesta por hifas o unicelular (levaduras).<br>Propagación por esporas. Paredes de quitina.<br>Nutrición por absorción.                               | Hongos             | Fungi    |

| Tipo de célula | Características   | Tipo de organismo | Reino    |
|----------------|---|-------------------|----------|
|                | Multicelular. Diferenciación extensiva.<br>Nutrición fotoautótrofa  | Plantas           | Plantae  |
|                | Multicelular. Diferenciación extensiva.<br>Reproducción sexual. Nutrición heterótrofa<br>(por ingestión o absorción). | Animales          | Animalia |

Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

**Figura 20.**

Clasificación gráfica de los organismos



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

## 9.2. Clasificación nutricional de los organismos

Los organismos requieren energía, y según cómo la obtengan se dividen en:

- Los fotótrofos capturan energía de la luz solar y la transforman en energía química.
- Los quimiótrofos dependen de la oxidación de compuestos químicos como fuente de energía y dependiendo del compuesto químico que utilizan se dividen en:
  - Los quimiorganótrofos obtienen su energía de la oxidación de compuestos orgánicos (carbohidratos, ácidos orgánicos o proteínas).
  - Los quimiolítotrofos obtienen su energía a partir de la oxidación de compuestos inorgánicos como el nitrito, amoníaco e ion ferroso).

Por otra parte, los microorganismos requieren carbono y en función de cómo lo obtienen se dividen en:

- Los autotrófios: sintetizan sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono. Son importantes en la naturaleza porque fija dióxido de carbono y es un precursor de los sustratos orgánicos (base de la cadena alimenticia)
- Los heterótrofos requieren compuestos orgánicos preformados (figura 21).

## 9.3. Los hábitats de la vida: aire, tierra y agua

La climatología de la zona determina el tipo de organismo que puede habitar, pero los estados de la materia de los hábitats limitan a los organismos.

[\*\*Los hábitats de la vida aire, tierra y agua\*\*](#)

## 9.4. Niveles tróficos

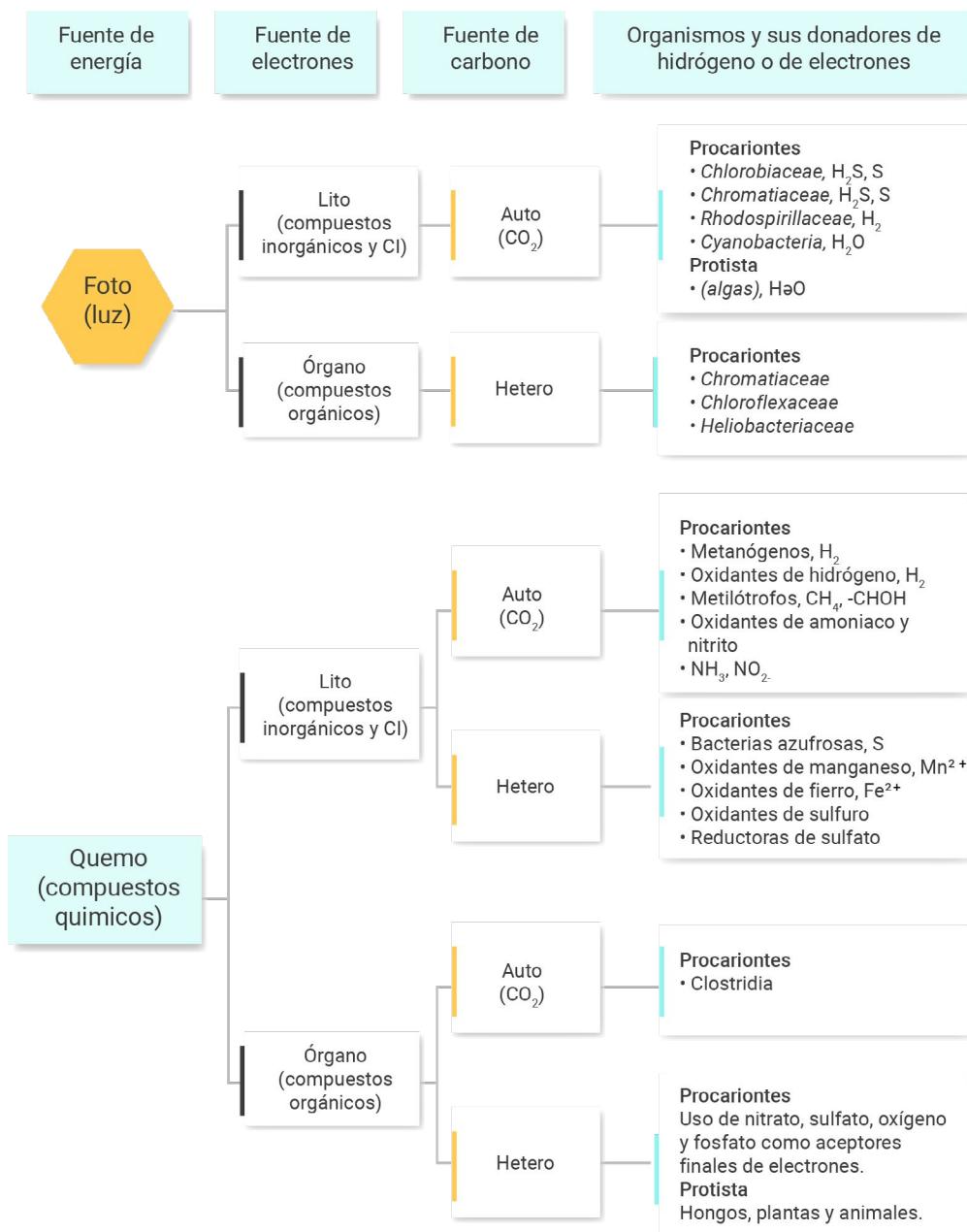
Se tiene tres categorías de las relaciones organismo-alimento que interactúan:

- **Productores:** son organismos fotoautótrofos que utilizan la fotosíntesis para producir glucosa y liberan CO<sub>2</sub> como subproducto.
- **Consumidores:** los heterótrofos consumen materia orgánica para conseguir energía y nutrientes.
- **Detrivoros y desintegradores:** son los hongos y bacterias. Obtienen energía fraccionando las moléculas complejas de los tejidos de plantas y animales muertos.

En cuanto a los niveles tróficos, los productores pertenecen al primer nivel y los consumidores primarios forman parte del segundo nivel. En las redes alimenticias, la energía fluye por los niveles tróficos con menores cantidades de energía al pasar de un nivel a otro (10%).

**Figura 21.**

Formas de nutrición de los organismos



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

## 9.5. Sostenibilidad de ecosistemas

Los ecosistemas cambian sus condiciones, pero cuando alcanzan un equilibrio dinámico (constante en tamaño y distribución geográfica) pueden mantenerse en el tiempo. Se contemplan varias leyes para la sostenibilidad de los ecosistemas:

- Se mantiene la biodiversidad.
- Los ecosistemas varían en la eficiencia con la cual retienen nutrientes esenciales.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, realicen las siguientes actividades:

1. Elabore un cuadro comparativo entre las características de las bacterias, archaeas y eukarya. Puede consultar el capítulo 7, p. 180 de Ibáñez et al. (2013).

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 9, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 9.



## Autoevaluación 9

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. Los seres vivos se caracterizan porque tienen movimiento, capacidad de respuesta, crecimiento, alimentación, reproducción, liberación de energía y excreción.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
2. ¿Quién propuso cinco reinos (monera, protista, fungi, plantae y animalia)?
  - a. Whittaker.
  - b. Carlos Linneo.
3. Las células procariontes incluyen al reino:
  - a. Mónera.
  - b. Protista.
  - c. Fungi.
  - d. Planta.e
  - e. Animalia.
4. Los organismos se clasifican en: fotótrofos y quimiótrofos, pero cuando nos referimos a los organismos que capturan la energía radiante de la luz solar y la transforman en energía química que se almacena en los enlaces de los carbohidratos y de otras moléculas nos referimos a:
  - a. Fotótrofos.
  - b. Quimiótrofos.

5. ¿Cuáles son los organismos que obtienen su energía de la oxidación de compuestos orgánicos?
  - a. Quimiolitótrofos.
  - b. Quimiororganótrofos.
6. ¿Cuáles son los organismos que sintetizan sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono?
  - a. Heterótrofos.
  - b. Autotrófios.
7. En cuanto a los niveles tróficos se clasifican en: productores, consumidores y detritívoros y desintegradores.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
8. ¿Los consumidores primarios a qué nivel trófico pertenecen?
  - a. Primer nivel.
  - b. Segundo nivel.
9. Los ecosistemas alcanzan un equilibrio dinámico cuando:
  - a. Constante en tamaño.
  - b. Distribución geográfica.
  - c. A y B.
10. ¿Las células acariontes pertenecen a qué reino?
  - a. Mónera.
  - b. Protista.
  - c. Fungi.
  - d. Plantae.
  - e. Animalia.
  - f. Ninguna de las anteriores.

[Ir al solucionario](#)



En esta semana continuaremos con el estudio de la química, pero específicamente en la matriz suelo, por lo tanto, analizaremos los principales puntos de la química en los procesos de la litósfera (Ibáñez et al., 2013).

### **Unidad 10. Química de los procesos en la litósfera**

---

Para entender esta unidad, debemos recordar la estructura de la Tierra, en cuanto a las características del manto, corteza y núcleo. Además, analizaremos la composición de la Tierra y las propiedades de las rocas y de los minerales, para ello les recomiendo que veamos los siguientes videos denominados: [Química de suelos - Parte 1](#) y [Química de suelos - Parte 2](#).

#### **10.1. La litósfera y sus componentes**

Es necesario que estudiemos las características y composición del suelo de los minerales y de las rocas.

##### **10.1.1. Clasificación de las rocas**

Las rocas pueden clasificarse por su origen como: ígneas, metamórficas, o sedimentarias, como lo podemos ver en la siguiente infografía.

##### [\*\*Clasificación de las rocas\*\*](#)

En cuanto a los minerales formadores de rocas, se conoce que existen más de 2000 minerales identificados, pero sólo algunos son los más comunes en la formación de rocas, como observamos en la Tabla 13. Por otra parte, en cuanto a la estructura, podemos clasificar los silicatos según la polimerización de SiO<sub>4</sub> y en la proporción entre átomos de Si y O (Si:O):

- 1:4 = nesosilicatos (ortosilicatos)
- 2:7 = sorosilicatos
- 1:3 = ciclosilicatos
- 1:3 y 4:11 = inosilicatos
- 2:5 = filosilicatos
- 1:2 = tectosilicatos (cuarzo y feldespato)

**Tabla 13.***Los minerales más comunes en la formación de rocas*

| Mineral              | Tipo                        | Fórmula  |
|----------------------|-----------------------------|--|
| Olivino              |                             | $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$   |
| Cuarzo               |                             | $\text{SiO}_2$   |
| Feldespato           | Feldespato plagioclasa      | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ a $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (serie continua)  |
|                      | Feldespato de potasio       | $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$   |
| Mica                 | Muscovita                   | $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$  |
|                      | Lepidolita                  | $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})_3\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$  |
|                      | Estaurolita                 | $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Zn})_2\text{Al}_9(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{22}(\text{OH})_2$   |
|                      | Biotita                     | $\text{K}(\text{Fe}, \text{Mg})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  |
| Piroxeno             | Series de enstatita         | $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$  |
|                      | Augita                      | $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$   |
| Anfíbol              | Hornblenda (un inosilicato) | $(\text{Ca}, \text{Na})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$  |
|                      | Actinolita                  | $\text{Ca}_2(\text{MgFe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  |
|                      | Glaucofana                  | $\text{Na}_2(\text{Mg}_3\text{Al}_2)(\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$ o $\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ |
| <b>Otros comunes</b> |                             |  |
| Magnetita            |                             | $\text{Fe}_3\text{O}_4$  |
| Granate              |                             | $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  |
| Calcita              |                             | $\text{CaCO}_3$  |
| Dolomita             |                             | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$   |

Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

## 10.2. Formación y diferenciación de los minerales y las menas

Los fenómenos físicos, químicos y bioquímicos dan lugar a una amplia variedad de minerales que se clasifican según:

1. Sus potenciales de reducción relativos al hierro (siderófilos, litófilos y calcófilos).
2. Sus radios iónicos, preferencias de enlace, energías de red y densidades.
3. La interacción de los minerales en la corteza con el medio ambiente, tanto virgen como contaminado; estos fenómenos son llamados intemperizado.

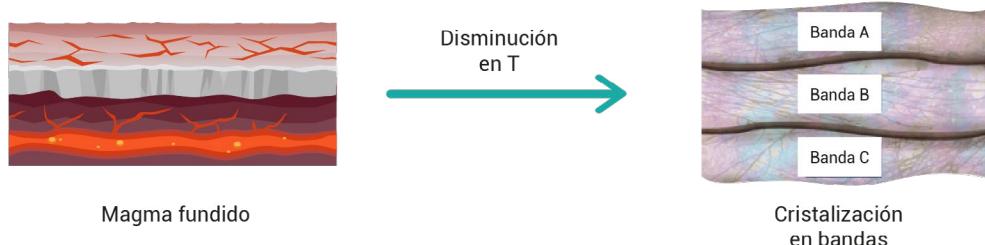
Cuando tenemos una acumulación de minerales, encontramos una mena que es un mineral que contiene un metal valioso para ser explotado. La formación de la mena (figura 22) se debe a varios factores como la presión, temperatura y otros, como:

- La concentración magmática.
- La deposición por enfriamiento.
- La evaporación.
- Los procesos hidrotérmicos.
- El intemperizado.
- Los fenómenos de transporte (sedimentación, metamorfismo, concentración mecánica y residual) (figura 23).
- Los procesos químicos (oxidaciones y reducciones abióticas y bióticas).

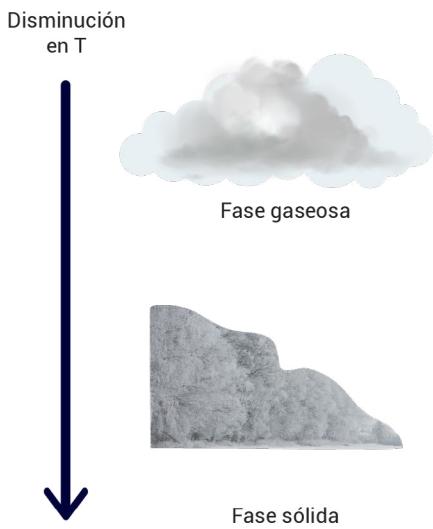
**Figura 22.**

Fenómenos de formación de menas: efectos de la temperatura

a) Concentración magmática



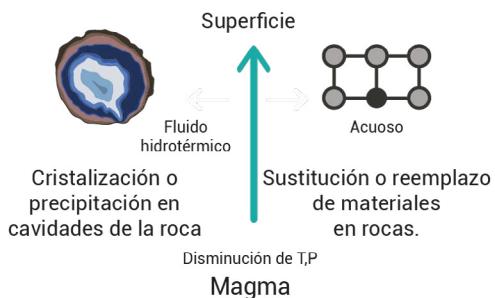
b) Depósito por enfriamiento



c) Evaporación



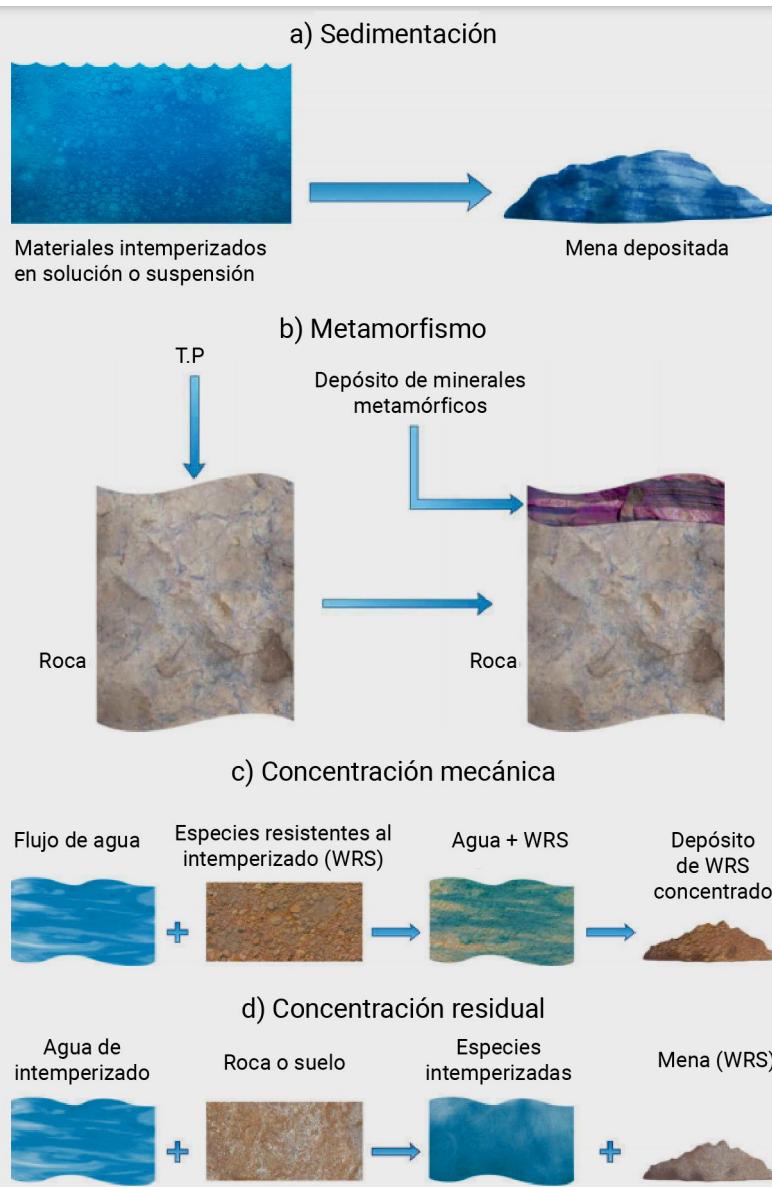
d) Procesos hidrotérmicos



Nota. Elaboración propia

**Figura 23.**

Fenómenos de formación de menas: desgaste y transporte.



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

## 10.3. Intemperizado

Según Ibáñez et al. (2013), el **intemperizado** es la interacción de los minerales de la corteza con el medio original o con el contaminado. Esta interacción puede ser de naturaleza: física, química, bioquímica o una combinación de ellas.

### 10.3.1. Intemperizado físico

Los fenómenos físicos causan el intemperizado debido a:

- **Gradientes de temperatura:** Producen grietas en las rocas por los ciclos de expansión-contracción dependiendo de los coeficientes individuales de expansión térmica.
- **Abrasión:** El viento transporta polvo y partículas que son capaces de desgastar las rocas y suelos.
- **Erosión:** La erosión hídrica causada por el agua que físicamente arrastra partículas del suelo.
- **Fuerzas mecánicas:** Mediante las raíces de las plantas y los terremotos.

### 10.3.2. Intemperizado químico

Se produce por el contacto entre el agua o aire con la superficie de la corteza. La escorrentía tiene una interacción mínima, pero el agua que se infiltra y percola interactúa considerablemente. Cuando los minerales están bañados con una película de agua, muchos se disuelven, pero este proceso depende de la solubilidad de los iones del suelo o del mineral en el agua y de la composición, pH, potencial redox y frecuencia de renovación de la película acuosa que rodea al mineral.

### 10.3.3. Intemperizado biológico

La respiración y fotosíntesis emiten CO<sub>2</sub> modificando el pH del agua que les rodea y se genera materia orgánica que sirve para reducir químicamente a especies inorgánicas y para la producción de ligantes orgánicos que incrementen la solubilidad de iones metálicos (movilidad).

## 10.4. Características del suelo

Los suelos están formados por minerales, sustancias húmicas, desechos, etc., y esta composición genera su taxonomía.

Le invito a profundizar sus conocimientos acerca de este importante tema.

### 10.4.1. El perfil del suelo

Según Doménech y Peral (2016), cuando se produce la meteorización química o mecánica, la roca se disgrega y sus minerales primarios se transforman en otros de distinta naturaleza química denominados minerales secundarios. El resultado de este proceso son las partículas de distinto tamaño y composición, y así distinguimos cuatro fracciones de material según su tamaño:

- **Grava:** Partículas de tamaño superior a 2 mm de diámetro. Contiene mayoritariamente ortosilicatos (minerales primarios), muy estables y poco reactivos.
- **Arena:** Partículas de tamaño comprendido entre 2 y 0,05 mm. Tiene materiales muy meteorizados, óxidos y silicatos laminares (minerales secundarios), menos estables y más reactivos.
- **Limo:** Partículas comprendidas entre 0,05 y 0,002 mm. Está constituido por minerales primarios y secundarios.
- **Arcilla:** Partículas de diámetro inferior a 0,002 mm.

La proporción de estas fracciones en un suelo determina algunos parámetros como (tabla 14):

- **La textura:** viene determinada por la porosidad, la permeabilidad y la estructura.
- **La porosidad:** es una medida de la relación entre el volumen de los poros y el volumen de total del suelo.
- **La permeabilidad:** mide la velocidad a la que circula un fluido a través de un medio.
- La estructura de un suelo está determinada por la intensidad de la unión entre partículas.

**Tabla 14.**

*Propiedades de los suelos arenosos y arcillosos*

| Propiedad            | Suelo arenoso | Suelo arcilloso |
|----------------------|---------------|-----------------|
| Porosidad            | Baja          | Alta            |
| Permeabilidad        | Alta          | Baja            |
| Aireación            | Alta          | Baja            |
| Retención humedad    | Baja          | Alta            |
| Retención nutrientes | Baja          | Alta            |

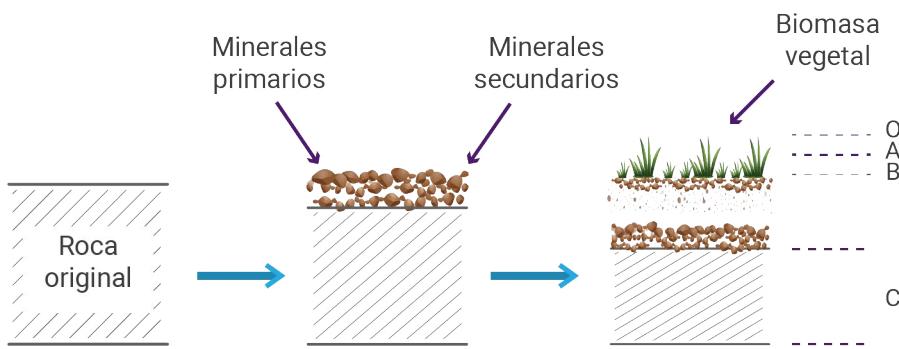
Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

Los suelos dependen de su profundidad y del desarrollo de la meteorización, pero ¿qué es el suelo?, pues entendemos el suelo como una interfase entre la litosfera y la atmósfera compuesta por una fase sólida y una fase fluida. La fase sólida es el 50% en volumen del suelo, y está formada por partículas de minerales inorgánicos (95%) y materia orgánica (5%). En cuanto al 50% restante, es espacio poroso, ocupado por una fase fluida (aire edáfico o fase acuosa) denominada disolución del suelo.

Debido a la exposición a la intemperie, la roca se va transformando y originando el suelo, y posteriormente, da lugar a capas denominadas horizontes. El conjunto de los horizontes es el perfil de un suelo. Se forma el suelo cuando la roca original se disagrega por meteorización y se obtienen pequeños fragmentos de roca, cuyos minerales primarios constitutivos se transforman en minerales secundarios, gracias a procesos de meteorización química (Figura 24). Los minerales secundarios por su capacidad de retención catiónica almacenan especies nutritivas que facilita el crecimiento de biomasa en la parte superior del suelo.

**Figura 24.**

Génesis de un suelo y formación del perfil de suelo



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

En general, un suelo puede estar constituido por los siguientes horizontes:

- **Horizonte O:** es el más superficial y está constituido por materia orgánica fresca, parcialmente degradada (materia orgánica resistente) y de color negro.
- **Horizonte A:** está expuesto a la intemperie (agua), por lo que está sometido a lavado (zona eluvial) lo que produce un arrastre de arcillas y de materia orgánica hacia horizontes inferiores. Se produce la disolución de substancias o elementos solubles (lixiviación). Está compuesta de finas partículas sólidas orgánicas, que dan un color oscuro y por partículas arenosas que le dan una gran permeabilidad. Tiene buena aireación favoreciendo la degradación de la materia orgánica y la circulación vertical del agua de infiltración (percolación).
- **Horizonte B:** confluyen los materiales arrastrados de los horizontes superiores por lo que es una zona de deposición (zona iluvial). Está formada de minerales secundarios predominando la fracción arcillosa, es menos permeable, la meteorización y la lixiviación son bajas.
- **Horizonte C:** es una zona de transición entre la roca original y los horizontes. Está constituido por material fragmentado, pero no meteorizado químicamente.

#### 10.4.2. Taxonomía de los suelos

Los estratos del suelo se llaman horizontes y tienen componentes orgánicos e inorgánicos, es por eso que se clasifican en **minerales** (horizontes con menos del 20–35% de materia orgánica) y **orgánicos**.

### 10.4.3. Composición de los suelos

En los horizontes superiores, los poros albergan aire de composición similar al aire atmosférico (zona de aireación o vadosa), pero a mayores profundidades disminuye el oxígeno porque se consume en la oxidación de la materia orgánica; y por el aumento del dióxido de carbono generado.

En la zona vadosa, los poros están ocupados por aire edáfico y por humedad. El grado de humedad de un suelo depende de factores climáticos, geográficos y de la presencia de organismos vivos, es un balance entre la precipitación, percolación, evaporación y transpiración de la vegetación que el suelo sustenta. La disolución del suelo (Tabla 15) tiene una composición química variable que depende de los equilibrios químicos que se establecen entre ella con el aire edáfico y con la fase sólida del suelo. Las especies disueltas corresponden a iones inorgánicos (iones alcalinos y alcalinotérreos y aniones haluro, nitrato, sulfato, etc.).

**Tabla 15.**

*Especies inorgánicas presentes en la disolución del suelo*

| Clasificación                     | Iones  | Relevancia   |
|-----------------------------------|--|--|
| Intercambiables                   | $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ,<br>$\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$<br>$\text{Al(OH)}_2^+$                                 | Son los más abundantes (concentración de $\text{mg L}^{-1}$ ). Están sujetos a procesos de intercambio. Algunos son nutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ ), otros son preponderantes en suelos alcalinos ( $\text{Na}^+$ ) y otros en ácidos ( $\text{Al(OH)}_2^+$ ). |
| Cationes de metales de transición | $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ ,<br>$\text{Fe(II,III)}$ , $\text{Zn}^{2+}$  | Presentes en concentraciones bajas (décimas o milésimas de $\text{mg L}^{-1}$ ), forman hidróxidos insolubles. Forman complejos con los ácidos húmicos y fulvicos  |
| Iones tóxicos                     | $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ ,<br>$\text{Hg}^{2+}$ , $\text{Be}^{2+}$ ,<br>$\text{CrO}_4^{2-}$ , $\text{AsO}_4^{3-}$ | Iones de origen natural y antropogénico. El $\text{Al}^{3+}$ , presente en suelos ácidos, es fitotóxico.   |
| Aniones solubles                  | $\text{Cl}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ,<br>$\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$  | Presentes en concentraciones de algunos $\text{mg L}^{-1}$ . Son muy lixiviables. El $\text{Cl}^-$ y $\text{HCO}_3^-$ son abundantes en suelos salinos.  |
| Aniones poco solubles             | $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ,<br>$\text{HPO}_4^{2-}$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,<br>$\text{H}_2\text{BO}_3^-$                                 | Presentes en concentraciones de sólo algunas milésimas de $\text{mg L}^{-1}$ , el elemento central está rodeado de varios átomos de oxígeno: forman sales insolubles con diversos cationes.  |

Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

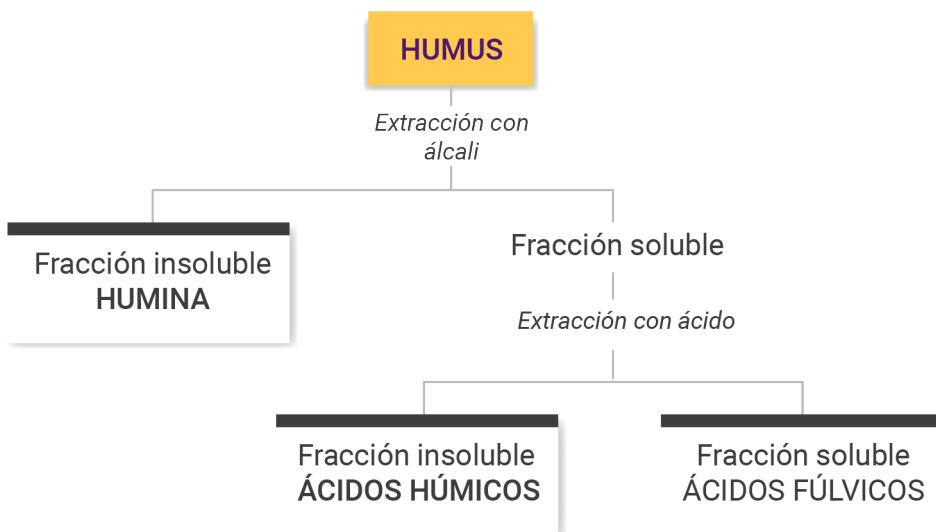
#### 10.4.4. Sustancias húmicas (SH)

Son macromoléculas orgánicas con altos pesos moleculares. Son refractarias y tienen tonalidades de amarillo a negro. Las sustancias húmicas están compuestas de ligninas modificadas debido a la descomposición que hacen los microorganismos a la materia vegetal, y a los polifenoles. Se clasifican en: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas o kerógeno (HU) (Figura 25):

Las SH se hidratan fácilmente en medios acuosos y las SH de mayor tamaño son las HU y las más pequeñas son los AF. Los AH y los AF son más propensos que las HU a ser solubles. Las SH se pueden encontrar como ligantes en complejos metálicos.

**Figura 25.**

*Componentes de las sustancias húmicas (humus)*



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

#### 10.4.5. Descomposición de materia orgánica adsorbida en el suelo

La sorción es la adquisición de una especie química procedente de una fase acuosa por parte de una fase sólida. Los mecanismos de sorción son: **adsorción, precipitación y absorción o incorporación**.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, realicen las siguientes actividades apoyándose del texto de Ibáñez et al. (2013).

1. Revisar los fenómenos de formación de menas mediante los procesos químicos en la página 116.
2. Revisar los ejercicios resueltos del intemperizado químico que se encuentran en las páginas de la 117 a la 121.

Para las siguientes actividades puede revisar el capítulo 1 de Doménech y Peral (2016).

1. ¿En qué tipos de suelo se dan con mayor facilidad situaciones de falta de oxígeno: suelos arcillosos o suelos arenosos?
2. ¿Qué tipo de agua suele tener mayor dureza: el agua de un río de alta montaña o un agua subterránea?
3. ¿Por qué los suelos con mayor contenido en materia orgánica retienen más humedad?

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 10, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 10.



## Autoevaluación 10

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. Las rocas se clasifican en:

- a. Ígneas.
- b. Metamórficas.
- c. Sedimentarias.
- d. Todas las anteriores.

2. ¿Cuáles son los fenómenos físicos que provocan el intemperizado?

- a. Gradientes de temperatura.
- b. Abrasión.
- c. Erosión.
- d. Fuerzas mecánicas.
- e. A, b, c y d.
- f. B, c y d.
- g. Todas las anteriores.

3. Las sustancias húmicas se clasifican en:

- a. Ácidos húmicos.
- b. Ácidos fúlvicos.
- c. Huminas.
- d. A y b.
- e. B y c.
- f. Todas las anteriores.

4. Los silicatos se pueden clasificar en:
- 1:4 = nesosilicatos (ortosilicatos).
  - 2:7 = sorosilicatos.
  - 1:3 = ciclosilicatos.
  - 1:3 y 4:11 = inosilicatos.
  - 2:5 filosilicatos.
  - 1:2 tectosilicatos (cuarzo y feldespato).
  - Todas las anteriores.
5. La mena se forma por acción de:
- Presión.
  - Temperatura.
  - B y C.
  - Ninguna de las anteriores.
6. Ejemplos del intemperizado biológico son: erosión y abrasión.
- Verdadero
  - Falso
7. Ejemplos del intemperizado biológico son:
- Erosión y abrasión.
  - Respiración y fotosíntesis.
  - A y B.
  - Ninguna de las anteriores.
8. Las fracciones del suelo se clasifican en: grava, arena, limo y arcilla, pero cuando nos referimos a la fracción de suelo que contiene mayoritariamente ortosilicatos (minerales primarios), muy estables y poco reactivos, es:
- Grava.
  - Arena.
  - Limo.
  - Arcilla.

9. El parámetro que mide la velocidad a la que circula un fluido a través de un medio es:
- a. Textura.
  - b. Porosidad.
  - c. Permeabilidad.
  - d. Estructura.
10. ¿Cuál es el horizonte que conforma la zona de transición entre la roca original y los demás horizontes?
- a. Horizonte O.
  - b. Horizonte A.
  - c. Horizonte B.
  - d. Horizonte C.

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 11. La interfase sólido – agua, procesos de sorción e intercambio iónico

En las anteriores semanas hemos detallado la constitución química y las propiedades de los medios edáficos, hidrosférico y atmosférico, por lo tanto, daremos continuidad analizando los procesos que suceden en la interfase sólido – agua.

Les recomiendo que lean el capítulo 2 del texto base (p. 48), donde encontraremos la interacción química y el reparto de material entre el reservorio hidrosférico y los sedimentos, aparte del intercambio de especies entre el medio acuoso y las partículas en suspensión.

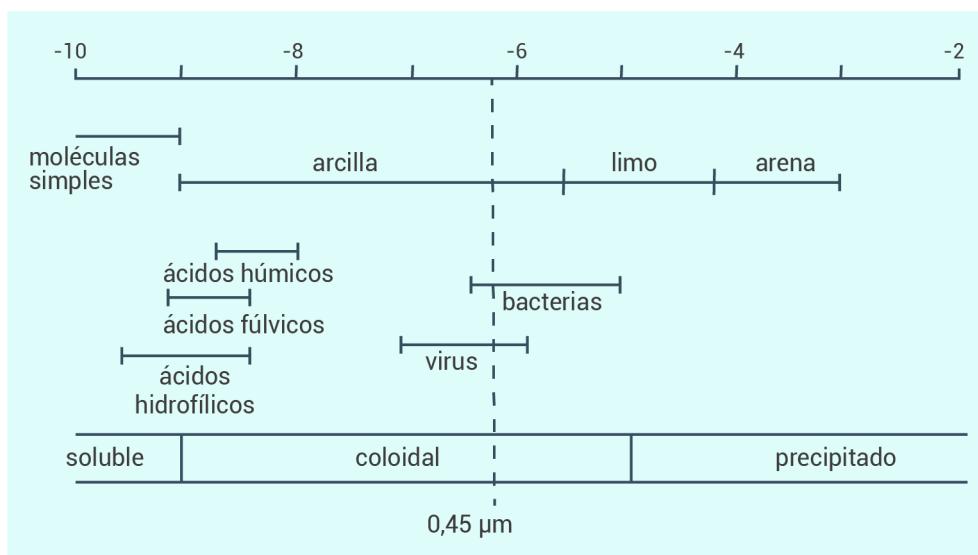
Un aspecto muy relevante son los coloides del suelo que nutren de partículas sólidas muy finas y estables en el medio hidrosférico y por procesos de sorción, pueden dar lugar a la movilización de contaminantes poco solubles.

### 11.1. Los coloides del suelo

Los fenómenos que ocurren en la zona de separación entre las fases sólida y líquida son más importantes cuanto mayor es su área de contacto. En el medio acuoso, las partículas finas tienen mayor área (superficie específica) en relación con el volumen que ocupan frente a las partículas más grandes que pueden sedimentar sin dificultad. La erosión produce el arrastre de material particulado del suelo en una gran proporción. En la Figura 26 podemos observar las diferentes fracciones de material según su tamaño.

**Figura 26.**

Clasificación de las partículas según su tamaño



Nota.: Doménech y Peral (2016, p. 40)

En la Figura 26 podemos ver partículas de mayor tamaño correspondientes a material arenoso (ortosilicatos) que sedimentan más rápido, partículas coloidales formadas por material arcilloso (silicatos laminares y óxidos metálicos) y calcáreo. También hay material orgánico coloidal, como es el caso de ácidos húmicos, fúlvicos e hidrofílicos. Justamente, de aquí surge el término de **coloides del suelo** que lo compone la fracción arcillosa y al material húmico coloidal.

Los coloides presentan una gran estabilidad en el medio acuoso y forman suspensiones coloidales que son un sistema bifásico. Constituido por un medio de dispersión (líquido), que contiene partículas muy finas que constituyen la fase dispersa. En la Tabla 16 se indican diferentes sistemas coloidales de relevancia ambiental.

**Tabla 16.***Tipos de sistemas coloidales*

| Tipo de sistema coloidal | Fase dispersa | Medio de dispersión | Ejemplo                |
|--------------------------|---------------|---------------------|------------------------|
| Aerosol                  | Líquido       | Gas                 | Niebla, aerosol marino |
|                          | Sólido        |                     | Humo                   |
| Suspensión coloidal      | Sólido        | Líquido             | Disolución del suelo   |
| Emulsión                 | Líquido       |                     | Leche                  |
| Espuma                   | Gas           | Líquido             | Jabón                  |
|                          |               | Sólido              | Piedra Pómez           |

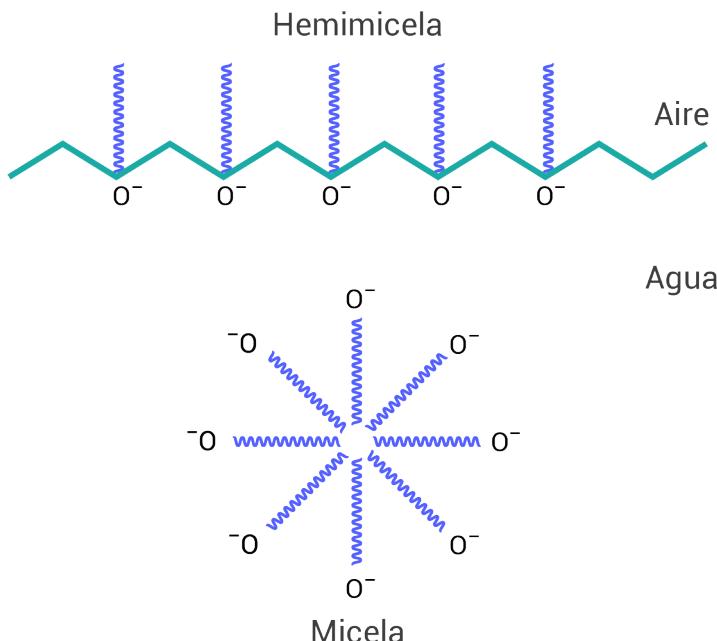
Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016, p. 41)

Las partículas coloidales llevan adheridos contaminantes orgánicos y metales pesados, movilizando contaminantes a través de los poros del suelo con el movimiento de las partículas coloidales en la disolución del suelo hasta alcanzar el acuífero subterráneo, o bien siendo transportada por las partículas incorporadas en el flujo de un río. Distinguimos dos tipos de suspensiones: las **liófilas** (hidrófilas) y las **liófobas** (hidrófoba).

- Las **liófilas** forman suspensiones coloidales espontáneamente por solvatación (ácidos húmicos, fúlvicos y proteínas). Un caso particular son las **micelas**, se forman por la asociación de moléculas con estructura anfifílica (una parte liófoba y otra liófila). Los surfactantes son moléculas con estructura anfifílica. Las micelas tienen tamaño coloidal y permanecen de forma estable en suspensión en el medio acuoso gracias a la fuerte solvatación de la parte hidrófila de las moléculas anfifílicas. Otro grado de estructuración de las moléculas de surfactante ocurre en la interfase aire-agua, con la formación de **hemimicelas**, en las que la parte liófoba de las moléculas anfifílicas se orienta hacia el aire, mientras que la parte liófila se sumerge en el líquido (figura 27).

**Figura 27.**

Molécula surfactante en el medio acuoso, con formación de micelas y hemimicelas.



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016, p. 42)

- Las **liófobas** no se forman espontáneamente, sino que las partículas coloidales permanecen en suspensión a lo largo de un tiempo más o menos elevado, en una situación metaestable (partículas muy finas de óxidos metálicos o de silicatos laminares en medio acuoso). En principio, la tendencia termodinámica de esos sistemas es la agregación de esas partículas formando otras de mayor tamaño, para obtener una menor superficie de contacto con el agua y su precipitación posterior. No obstante, cuando las partículas son muy pequeñas, tienen lugar fenómenos de superficie en estas partículas que las estabiliza.

Los sistemas liófobos son estables por su carga superficial, que se debe a la disociación de los grupos hidroxilo superficiales y da lugar a una carga negativa: carga en la superficie de la partícula coloidal que origina cierta acumulación de cationes en la disolución alrededor de la partícula.

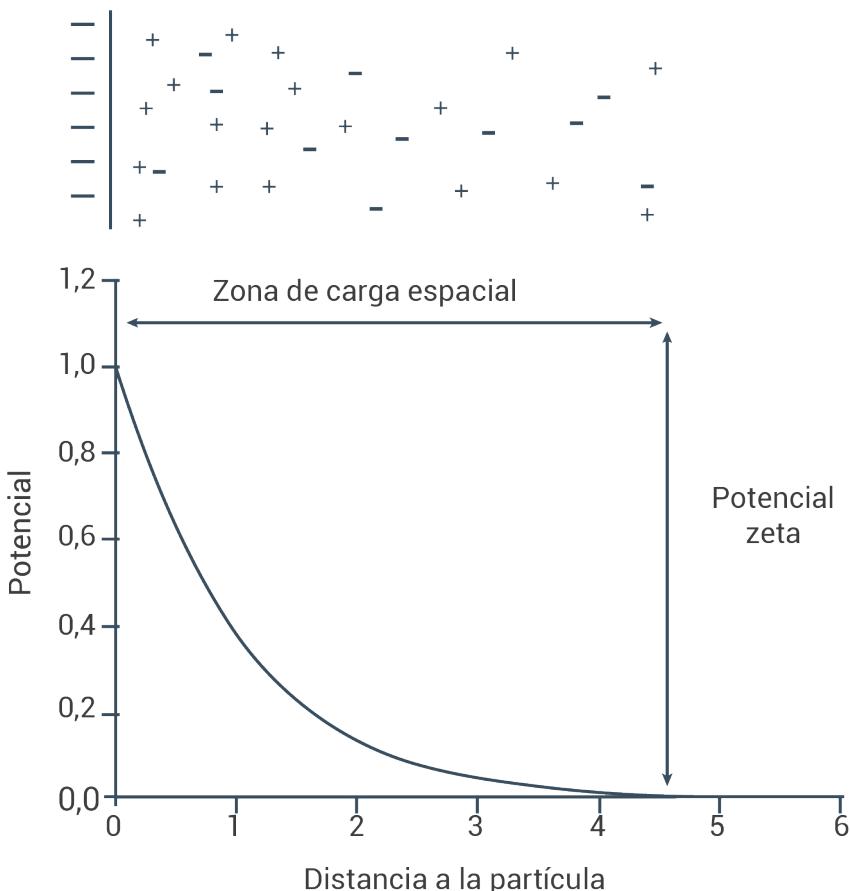
Esta zona de la disolución con desigual distribución de carga iónica alrededor de la partícula se denomina **zona de carga espacial**. Esta

separación de cargas entre la superficie de la partícula y la disolución cercana a ésta se denomina **doble capa eléctrica**. En la zona de carga espacial se establece una caída de potencial hasta hacerse constante en el seno de la disolución, a distancia infinita de la partícula. Esta diferencia de potencial entre el seno de la disolución y la partícula dificulta el acercamiento entre las partículas para formar agregados mayores y, por lo tanto, es la causa de la estabilidad de esas suspensiones coloidales. Para disoluciones diluidas, como lo son los sistemas naturales, el potencial disminuye de forma exponencial con la distancia a la partícula. Este fenómeno, mediante el que se favorece la sedimentación por un aumento de la concentración iónica, se denomina **coagulación** y se utiliza en las plantas depuradoras de agua para sedimentar las partículas sólidas mediante la adición de una sal con catión polivalente, como  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ .

La estabilidad de las partículas depende del **potencial zeta**, y cuando este disminuye la extensión de la zona de carga espacial también es menor, favoreciendo la agregación de las partículas (Figura 29). El parámetro que con mayor extensión determina el valor del potencial zeta es el pH, de tal manera que para los minerales típicos del suelo (silicatos laminares y óxidos) se hace menos negativo cuanto menor es el pH.

**Figura 28.**

Distribución de la carga en la interfase partícula coloidal-disolución y variación del potencial con la distancia a la superficie de la partícula en unidades arbitrarias.



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016, p. 44)

## 11.2. Fenómenos de adsorción. Isotermas

Según Doménech y Peral (2016), el contacto entre la fase sólida y la acuosa genera interacciones entre especies químicas disueltas y el sólido provocando fenómenos de **sorción**, relevantes en procesos edáficos, puesto que, en suelos porosos, hay una gran superficie de contacto entre la fase sólida y la acuosa. Para evaluar la sorción se tiene que determinar la proporción de especie química concreta (**sorbato**) asociada a la fase sólida (**sorbente**). La relación entre las concentraciones de sorbato y sorbente

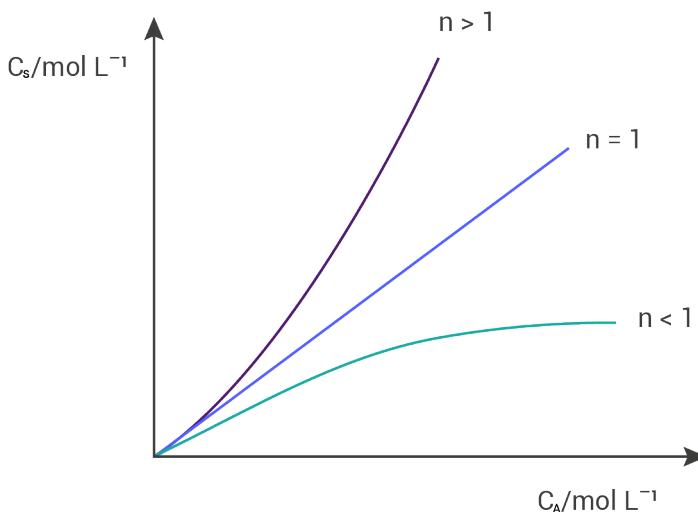
a una determinada temperatura, se denomina **isoterma de sorción**, que responden a la ecuación siguiente:

$$C_{i,s} = KC_{i,A}^n$$

Según el valor de n, se distinguen tres tipos distintos de isothermas como se observa en la figura 29.

- **Cuando  $n < 1$ :** se produce la adsorción, donde las moléculas de sorbato y la fase sólida (sorbente) sucede en la superficie de ésta.
- **Cuando  $n = 1$ :** la asociación del sorbato con el sorbente ocurre en todo el seno de la fase sólida, igual que en la fase acuosa.
- **Cuando  $n > 1$ :** se da cuando las primeras moléculas que se adsorben en la superficie la modifican e intensifican la adsorción.

**Figura 29.**  
*Tipos de isothermas*



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016, p. 47)

Además, distinguimos dos tipos de adsorción: física o fisisorción y química o quimisorción como se ve en la Tabla 17.

**Tabla 17.***Diferencias entre adsorción física y química*

|                        | <b>Adsorción Física</b>   | <b>Adsorción Química</b>  |
|------------------------|---|---|
| <b>Definición</b>      | Es una asociación de las moléculas de adsorbato con la superficie del adsorbente  |   |
| <b>Características</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se trata de una asociación a través de interacciones débiles, de tipo electrostático.</li> <li>2. Es una interacción no específica (no depende de la naturaleza química del adsorbato ni del adsorbente).</li> <li>3. Es posible la formación de multicapas.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las fuerzas de interacción entre adsorbato y adsorbente son fuertes; se establecen enlaces químicos, lo cual requiere la pérdida de las moléculas de solvatación.</li> <li>2. La interacción entre adsorbato y adsorbente es específica (depende de sus naturalezas químicas).</li> <li>3. La adsorción es en monocapas.</li> </ol> |

Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016, p. 47)

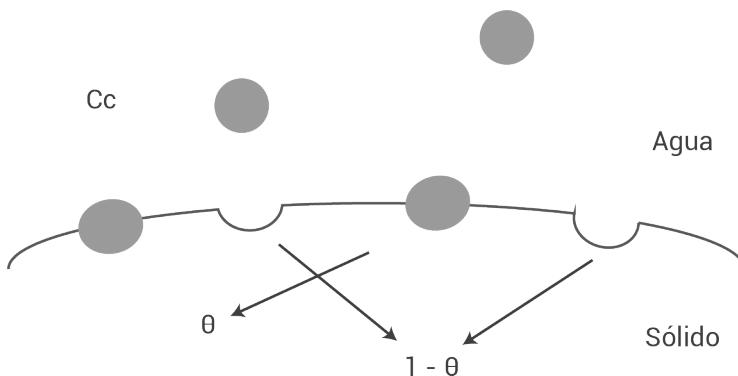
### 11.3. Adsorción química. Implicación ambiental

La adsorción química es específica, pero su isoterma puede ajustarse a modelos de tipo general, como el modelo de la **isoterma de Langmuir**. Se puede aplicar tanto a la interfase sólido - líquido (figura 30) como a la fase sólido – gas y se basa las en las siguientes hipótesis:

- La superficie del sólido contiene un número determinado de sitios de adsorción (lugares de la superficie del adsorbente donde se acomodan moléculas de adsorbato). En el equilibrio, una determinada fracción de sitios están ocupados ( **$\theta$ , grado de recubrimiento**), mientras que el resto,  $1 - \theta$ , permanecen vacíos.
- El calor de adsorción, consecuencia directa de la fuerza de las interacciones adsorbato - adsorbente, no depende de la fracción de superficie recubierta. Esto significa que todos los sitios de adsorción son equivalentes, es decir, que la superficie es uniforme.
- No se establecen interacciones entre moléculas vecinas. Los sitios de adsorción están alejados entre sí, de manera que las moléculas de adsorbato contiguas no se ejercen ninguna influencia. Como consecuencia de ello, la probabilidad de ocupación de un sitio de adsorción no depende de la fracción recubierta.

**Figura 30.**

Representación de la interfase sólido-agua



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016) (p 48)

La **isoterma de Langmuir** se basa en un modelo en el que se considera una superficie limpia y homogénea, donde todos los sitios activos son equivalentes. No obstante, en la realidad los sólidos tienen superficies heterogéneas y, en consecuencia, los sitios de adsorción no son todos equivalentes. Ello da lugar a que se ocupen en primer lugar los sitios más accesibles y, por lo tanto, la adsorción deviene cada vez más difícil, a medida que la superficie va ocupándose. De forma cuantitativa, el calor de adsorción, que mide la intensidad de las interacciones adsorbato-adsorbente, varía con el grado de recubrimiento.

Por otra parte, la **isoterma de Freundlich** tiene en cuenta la heterogeneidad de la superficie. Es adecuada en el caso de la adsorción de compuestos orgánicos (pesticidas), en la fase sólida mineral del suelo. Mientras que las isothermas de Langmuir explican la mayoría de los procesos de adsorción de interés ambiental, suele ajustar bien los datos de adsorción de iones metálicos en superficies minerales.

Continuemos con el aprendizaje mediante la revisión de los procesos de adsorción sobre fases sólidas minerales y sobre materia orgánica.

## 11.4. Procesos de adsorción sobre fases sólidas minerales

Según Doménech y Peral (2016), la mayor parte de la fase sólida mineral del suelo está formada por silicatos y óxidos metálicos. El contacto de la fase sólida con el agua produce una activación de la interfase. En este proceso, hay una rotura de las moléculas de agua mediante hidrólisis. Los átomos de metal actúan de sitios ácidos de Lewis (aceptando electrones) mientras que los átomos de oxígeno actúan de sitios básicos de Lewis (cediendo). De esta manera, en la interfase sólido-agua, las moléculas de agua se disocian: los aniones hidroxilo se unen al metal y los iones hidrógeno al oxígeno. Este proceso da lugar a la hidroxilación de la superficie de los óxidos metálicos y silicatos. Posterior a ello, se produce una disociación o protonación de la superficie dando lugar a una carga superficial. La protonación depende del pH, y tenemos estas posibilidades:

- **A pH básico:** ocurre disociación y se produce carga negativa en la superficie.
- **A pH ácido:** ocurre la protonación y aparece carga positiva.
- **A pH neutro:** la carga es cero, la superficie está hidroxilada (con un remanente de grupos protonados y disociados en igual cantidad). A este pH se le denomina **punto de carga cero (pcc)**, cuyo valor depende de la naturaleza química del sólido.

La carga superficial será mayor cuanto más elevado sea el pH de la disolución del suelo. Los suelos muy ácidos pueden tener pH inferior a 3, y presentar cierto grado de carga positiva. En suelos meteorizados, donde es importante la presencia de óxidos metálicos (óxidos de hierro, ZnO, TiO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), el pcc medio del suelo puede ser elevado, con lo que la superficie tiene carga positiva.

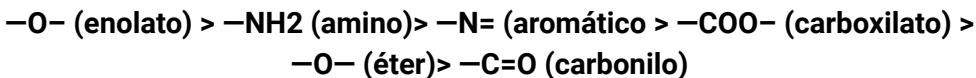
Cuanto mayor sea la diferencia entre el pH de la disolución del suelo y el pcc, mayor será la carga superficial (positiva o negativa), la caída de potencial en la interfase y la extensión de la zona de carga espacial; en consecuencia, más estables serán los coloides del suelo. La estabilidad de las partículas coloidales es mínima cuando el pH del medio acuoso se acerca al pcc. En la situación de la mayoría de suelos, puesto que pH > pcc, la agregación de los coloides ocurre al disminuir el pH.

La **hidroxilación** de una superficie de silicato es de importancia por los procesos de retención de cationes metálicos. Los oxígenos de los grupos hidroxilo actúan de ligandos donadores de electrones en procesos de

complejación con cationes de metales de transición presentes en el medio acuoso que participan como especies aceptoras. El resultado, es la formación de complejos que retienen al catión metálico, en la superficie de la fase sólida, por ejemplo, los óxidos de manganeso presentan selectividad por la adsorción de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$ , dando carácter covalente a las uniones químicas que se establecen entre adsorbato y adsorbente; los óxidos de hierro, el aluminio y los silicatos muestran preferencia por la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$  indicando que los enlaces no son ni netamente covalentes ni iónicos.

### 11.5. Procesos de adsorción sobre la materia orgánica

La materia orgánica tiene ácidos húmicos y fúlvicos que disponen de grupos funcionales donadores, capaces de formar enlaces de coordinación con cationes de metales de transición. Los grupos funcionales que están presentes en mayor proporción en la fase sólida orgánica son los grupos fenólico y carboxilato. El orden de afinidad de esos iones con los grupos funcionales de la materia húmica es:



También, la fracción húmica, por los grupos fenolato y carboxilato, puede interaccionar con compuestos orgánicos funcionalizados a través de enlaces de hidrógeno. Además de la interacción hidrofílico de compuestos orgánicos, el humus presenta gran afinidad con los compuestos hidrófobos, por la parte hidrófoba en el material húmico. Sobre todo, los componentes más hidrófobos del humus, como la humina, procuran formar aglomerados.

En el suelo, un compuesto orgánico estará sorbido en una cierta cantidad en la fase sólida mineral y en la materia orgánica del suelo (MOS). Las cantidades dependerán del grado de funcionalización y, por el grado de hidrofobicidad de la molécula. En general, la concentración de compuesto i en el suelo vendrá dada por:

$$C_{i,s} = \frac{m_i}{m_s} = \frac{m_{i,min}}{m_s} + \frac{m_{i,MO}}{m_s} \frac{m_{MO}}{m_{MO}} = C_{i,min} + C_{i,MO} f_{MO}$$

En esta expresión,  $m_i$ ,  $m_s$ ,  $m_{MO}$ ,  $m_{i,min}$  y  $m_{i,MO}$  corresponden a las masas de contaminante de suelo, de materia orgánica en el suelo y de compuesto

orgánico en las fases mineral y orgánica, respectivamente, y  $\frac{f}{M_O}$  es la fracción de materia orgánica en el suelo ( $m_{MO}/m_s$ ).

Normalmente, la fracción de materia orgánica del suelo se suele expresar en términos de carbono orgánico ( $f_{CO}$ ). Se acepta como valor medio de carbono orgánico en la fracción húmica del suelo el porcentaje de 58%:  $f_{CO} = 0.58 \frac{f}{M_O}$ . Si se sustituye  $\frac{f}{M_O}$  por  $f_{CO}$ , se obtiene:

$$K_d = K_{MO} \frac{f_{CO}}{0.58} = K_{CO} f_{CO}$$

en la que resulta una nueva constante de reparto del compuesto entre las fases orgánica y acuosa,  $K_{CO}(K_{MO}/0.58)$ . Conocer el valor de  $K_d$  es importante para evaluar el destino ambiental de un contaminante, y en particular para los contaminantes hidrófobos, muchos de los cuales son tóxicos y persistentes en el medio ambiente. Por ejemplo, un valor elevado de  $K_d$  indica que un contaminante posiblemente queda retenido en suelos o son incorporados a coloides orgánicos presentes en el medio hidrosférico o en la disolución del suelo.

El valor de  $K_d$  se puede determinar a partir de la constante octanol-agua ( $K_{OA}$ ), una constante de reparto de un compuesto orgánico entre una fase hidrófoba orgánica (octanol) y otra hidrófila (agua), y se determina a partir de la relación de las concentraciones en equilibrio de compuesto en las dos fases  $K_{OA} = c_{i,O}/c_{i,A}$

Hay una dependencia lineal entre  $K_{OA}$  y  $K_{MO}$  o  $K_{CO}$ , cuando se establecen relaciones empíricas entre estos parámetros del tipo:  $\log K_{MO} = a \log K_{OA} + b$ , donde  $a$  y  $b$  son constantes empíricas que se aplican a distintas familias de compuestos orgánicos.

Otra propiedad fisicoquímica relacionada con  $K_{MO}$  o  $K_{CO}$  es la solubilidad ( $S$ ), es decir, la concentración de compuesto en equilibrio con su fase sólida pura a una presión y una temperatura dada. La relación es:  $\log K_{MO} = -x \log S + y$ .

**Ejemplo:** Estimar el valor de  $K_d$  del herbicida atrazina, perteneciente a la familia de las triazinas, cuyo valor de  $\log K_{OA}$  es 2.61, para un suelo con una fracción de carbono orgánico de 0.010. La familia de triazina clorada tiene valor de  $a$  (0.37), de  $b$  (1.15)

**Resolución:** El valor de  $K_{MO}$  es:  $\log K_{MO} = a \log K_{OA} + b = 0.37 \log 2.61 + 1.15 = 1.30$ , por tanto,  $K_{MO} = 20.0 \text{ L kg}^{-1}$ . Para estimar  $K_d$  se necesita  $\int MO$ , y se obtiene de:  $\int co = 0.58 \int MO; \int MO = (\int co / 0.58) = (0,010 / 0.58) = 0,017 \text{ g}$ , en consecuencia:  $K_d = K_{MO} (\int co / 0.58) = 20.0 \times 0,017 = 0,34 \text{ L kg}^{-1}$ .

## 11.6. Adsorción física. Capacidad de intercambio catiónico

La adsorción física, suele ser predominante en la mayoría de suelos, y se produce a causa de interacciones de tipo electrostático, entre la fase sólida, que de forma predominante presenta carga negativa en la superficie, y los cationes en la disolución acuosa. La debilidad de las interacciones electrostáticas hace que cationes adsorbidos puedan ser fácilmente intercambiados por otros que posean una carga mayor o que estén presentes en una mayor concentración. Los cationes intercambiables normalmente presentes en la disolución del suelo no alterado son:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , etc.

La densidad de sitios de intercambio de una muestra de suelo define la capacidad de intercambio catiónico (CIC) como la cantidad total de iones adsorbidos reversiblemente, expresada en moles de carga positiva por unidad de masa de material por kilogramo de suelo. El valor del CIC de un suelo determinado depende de su composición, siendo la fracción arcillosa y material húmico las que más contribuyen al CIC por su elevada superficie específica, que implica que estos materiales expongan una elevada superficie de contacto con la disolución acuosa por unidad de masa.

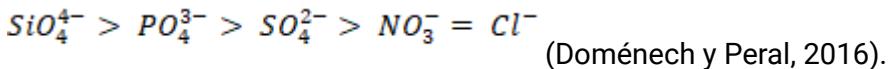
Los cationes intercambiables pueden ordenarse según su densidad de carga (**serie liotrópica**):  $\text{H}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Ba}^{2+} = \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} = \text{Cs}^+ > \text{Rb}^+ > \text{NH}_4^+ = \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$ . El ión  $\text{H}^+$  tiene mayor capacidad desplazante. Cuando se añade  $\text{H}^+$  a un suelo provoca la liberación de ión  $\text{Al}^{3+}$  de los aluminosilicatos, razón por la que estos dos iones se suelen asociar.

**Ejemplo:** Se utiliza una disolución de cloruro amónico 1 mol  $\text{L}^{-1}$  a pH de 4.5 para desplazar los cationes intercambiables adsorbidos en una muestra de suelo de 1.00 g. El volumen de disolución desplazante utilizada fue de 0.100 L y las concentraciones de los cationes intercambiables desplazados fueron: 27, 3.5, 0.5 y 2.0 mg  $\text{L}^{-1}$  para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ . Por valoración se determinó que la concentración de iones  $\text{H}^+$  fue de 1.5 mg  $\text{L}^{-1}$ . Determinar la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

**Resolución:** Revise la resolución del ejercicio planteado en la página 72 del texto base, donde se podrá entender el razonamiento y el desarrollo.

## 11.7. Adsorción de aniones

La capacidad de intercambio aniónico (CIA) consiste en la suma de los moles de carga de aniones adsorbidos reversiblemente por unidad de masa de suelo. También tenemos una serie liotrópica:



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, realicen las siguientes actividades, pueden apoyarse del texto base de los autores Doménech y Peral (2016):

1. Se produce un vertido de una disolución de ácido clorhídrico en un suelo. ¿Cuál es el destino más probable de los iones H<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>?
2. ¿Cuándo es más factible que precipite un coloide: cerca o lejos del punto de carga cero?
3. ¿Cuál es el origen de la capacidad de retención catiónica del humus del suelo?
4. ¿Cuál es la razón de la elevada velocidad de deposición de partículas coloidales en deltas y estuarios?
5. ¿Cuál es la diferencia entre absorción y adsorción? Citar un ejemplo.
6. El aumento de la humedad del suelo ¿incrementa, disminuye o no altera la retención de un contaminante orgánico funcionalizado?

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 11, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 11.



## Autoevaluación 11

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. ¿Qué compone los coloides?
  - a. La fracción arcillosa.
  - b. El material húmico coloidal.
  - c. La fracción arcillosa y el material húmico coloidal.
  - d. Ninguna.
2. ¿Las partículas coloidales llevan adheridos contaminantes orgánicos y metales pesados?
  - a. Verdadero
  - b. Falso
3. Las micelas son un caso de:
  - a. Liófilas.
  - b. Lióbolas.
  - c. Ninguna.
  - d. A y B.
4. Las suspensiones coloidales que forman suspensiones coloidales espontáneamente por solvatación son:
  - a. Liófilas.
  - b. Lióbolas.
  - c. Ninguna.
  - d. A y B.
5. En las plantas depuradoras de agua se sedimentan las partículas sólidas mediante la adición de una sal con catión polivalente, como  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ .
  - a. Verdadero
  - b. Falso

6. La isoterma de sorción es la relación entre las concentraciones de sorbato y sorbemte.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
7. Las fuerzas de interacción entre adsorbato y adsorbente son fuertes en:
  - a. Fisisorción.
  - b. Quimisorción.
  - c. A y B.
  - d. Ninguna de las anteriores.
8. La isoterma de Langmuir aplica a:
  - a. Interfase sólido – líquido.
  - b. Interfase sólido – gas.
  - c. A y B.
  - d. Ninguna de las anteriores.
9. Las isotermas de Langmuir explican la adsorción de compuestos orgánicos (pesticidas), en la fase sólida mineral del suelo.
10. Normalmente, ¿la materia orgánica del suelo se expresa en términos de?
  - a. pH.
  - b. Carbono orgánico.
  - c. Oxígeno disuelto.

[Ir al solucionario](#)



En esta semana estudiaremos los procesos ácido-base y redox de los medios terrestres donde dan lugar a medios ácidos y alcalinos, sus consecuencias ambientales y los métodos posibles de recuperación de suelos afectados. Por lo tanto, les recomiendo que revisen el capítulo 3 de Doménech y Peral (2016).

### Unidad 12. Procesos ácido – base y redox en medios terrestres

---

#### 12.1. Sistemas ácidos – base en medios terrestres

En los medios terrestres el pH varía entre 5 y 8, debido a especies químicas que amortiguan el pH que dificultan la presencia de valores de pH fuera del intervalo. Sin embargo, en situaciones extremas, el pH puede exceder los límites anteriores.

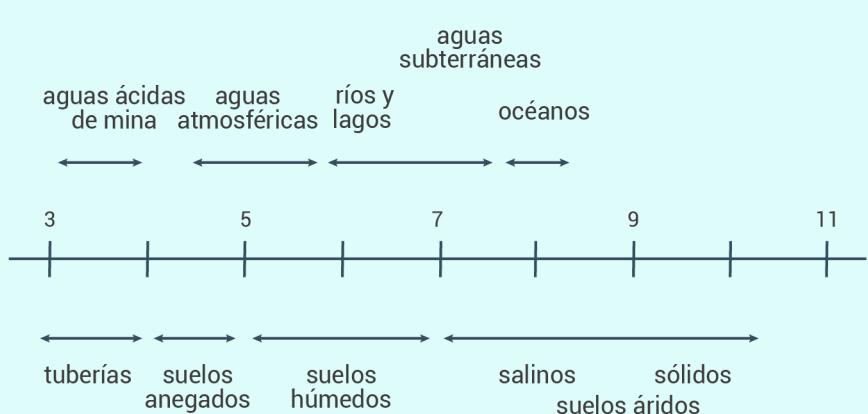
##### 12.1.1. pH de sistemas hidrosféricos

En la figura 31 observamos los límites de pH que solemos encontrar en el ambiente. Entre los parámetros que determina el pH en fases acuosas tenemos el carbono inorgánico disuelto.

**Ejemplo:** El agua de mar tiene un pH alrededor de 8, debido a su elevada concentración salina, se puede considerar como una disolución supersaturada de carbonato cálcico. En las aguas superficiales marinas, la concentración de ion es de  $2.8 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup> y la alcalinidad total es de alrededor de  $3.0 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup>. Con estos datos, podemos calcular el pH empleando la siguiente fórmula, y con la precisión de que las constantes K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub> poseen valores diferentes para agua de mar que para aguas continentales no salinas.

$$AT = [HCO_3^-] + \frac{2K_2[HCO_3^-]}{[H^+]} + [OH^-] - [H^+]$$

**Figura 31.**  
pH de diferentes sistemas ambientales



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

El pH no se mantiene constante, sino que presenta ligeras variaciones con la profundidad, debido a que la fotosíntesis en las aguas superficiales da lugar al consumo de  $\text{CO}_2(\text{aq})$ , y la materia orgánica generada consume el oxígeno y aumenta el carbono inorgánico disuelto. Además, el aumento de la presión y la disminución de la temperatura con la profundidad aumentan la solubilidad del carbonato de calcio (alcalinidad). Un pH muy ácido se puede encontrar en sistemas hidrosféricos que posean poca capacidad tamponante.

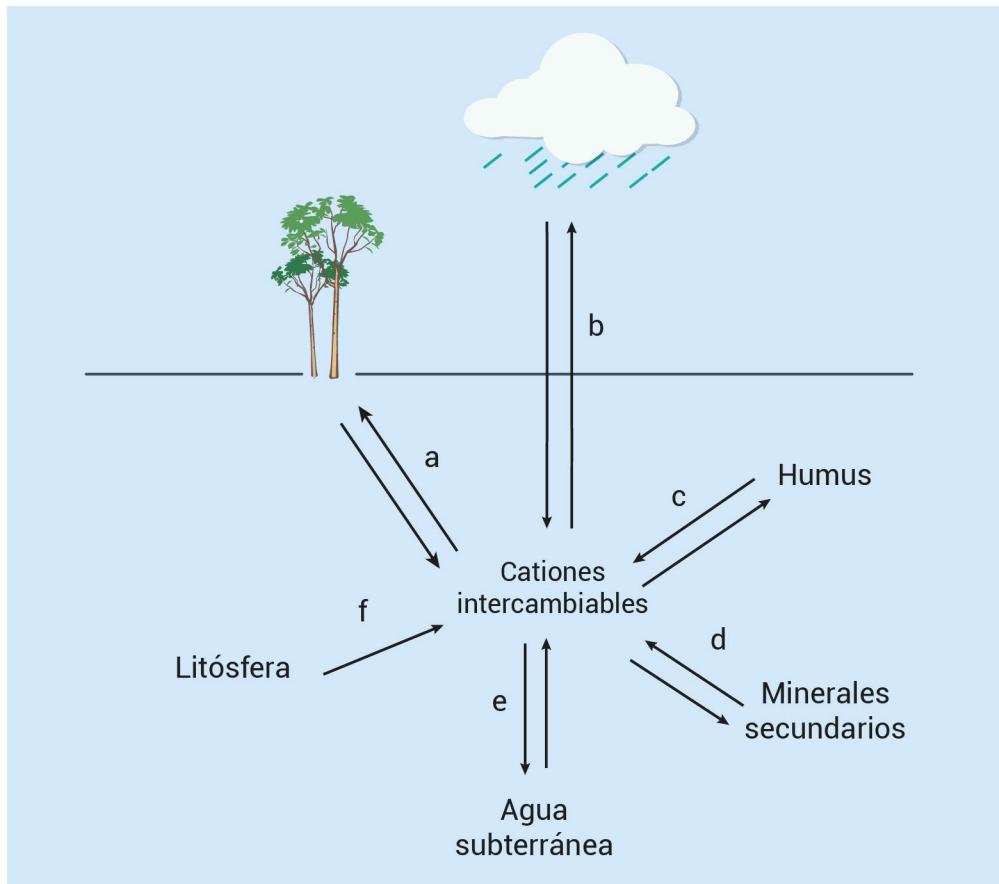
**Ejemplo:** En el agua atmosférica, la disolución de gases atmosféricos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) puede producir ácido sulfúrico y nítrico que liberan protones ácidos al agua generando lluvias ácidas (pH menor a 5).

### 12.1.2. pH en sistemas edáficos

En un suelo natural, el pH se encuentra entre 5 a 8.5, sin embargo, algunos suelos presentan un pH de la disolución ácido extremo, sobre todo aquellos con alta actividad microbiana (rizosfera), donde se degrada materia orgánica y se genera elevadas concentraciones de  $\text{CO}_2$ . El valor de pH está dado por la composición de la disolución del suelo donde incide la concentración de cationes intercambiables. En la Figura 32 se muestran procesos naturales que varían la concentración de cationes intercambiables en la disolución del suelo (afectan su pH). Además, los climas con gran pluviosidad disminuyen la concentración de los cationes en la disolución del suelo y favorecen su percolación hacia el acuífero subterráneo, lo que origina acidificación.

**Figura 32.**

Procesos que alteran la concentración de cationes intercambiables: a) fijación de nutrientes y descomposición, b) precipitación y evaporación del agua del suelo, c) y d) adsorción y liberación por parte del humus y de los minerales secundarios, e) percolación y ascensión capilar, f) meteorización.



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

## 12.2. Acidificación del suelo

La acidificación de un suelo puede ocurrir por causas como: la elevada pluviosidad (favorece la dilución y el lixiviado hacia el acuífero de cationes básicos), el crecimiento de la vegetación (su agotamiento), por aporte de especies ácidas (lluvia ácida), la fertilización del suelo, la degradación de materia orgánica y vertidos al suelo de sustancias ácidas (vertidos residuales de actividades industriales).

### 12.3. Recuperación de suelos ácidos. Capacidad tamponante de un suelo

La pérdida de capacidad de intercambio catiónico de un suelo es un efecto negativo que sucede en los procesos de acidificación. Para recuperar las propiedades del suelo acidificado deben añadirse sustancias básicas compatibles que incrementen el pH del suelo. La acidez total depende de la cantidad de muestra (magnitud extensiva), en contraposición al pH que corresponde a una magnitud intensiva. La acidez se desglosa en:

- **La acidez intercambiable:** resulta del desplazamiento con una disolución de sal neutra no tamponada. En un suelo típico, las especies que contribuyen a la acidez intercambiable son las que ocupan posiciones de intercambio en la fase sólida del suelo, y que pueden ser desplazadas cuando se valoran con una disolución de catión a concentración alta.
- **La acidez no intercambiable:** es la resultante del consumo de OH<sup>-</sup>, por lo que requiere la valoración con una base.

### 12.4. Salinización de suelos. Causas y efectos

La salinización de un suelo se da por causas naturales y antropogénicas, como por ejemplo: por zonas con sales fósiles producto de depósitos marinos antiguos y enterrados debajo de los sedimentos, por la presencia de un exceso de sales se produce en climas áridos, donde el elevado ritmo de evaporación provoca la acumulación superficial de sales, por el drenaje deficiente de un suelo, ya sea a causa de un elevado nivel freático o de una baja permeabilidad o por el uso de agua de irrigación de baja calidad.

## 12.5. Tipos de suelos afectados por sales y rehabilitación

Debemos caracterizar un suelo antes de proceder a recuperarlo. El diagnóstico del suelo incluye el estudio de los sólidos disueltos totales (SDT), la conductividad eléctrica (CE), la proporción de iones sodio presente en un suelo, se utiliza el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), que corresponde al porcentaje de sitios de intercambio ocupados por iones  $\text{Na}^+$  y la relación de adsorción de sodio (RAS), cuyas fórmulas son:

$$\text{SDT (mgL}^{-1}\text{)} = \text{CE (Sm}^{-1}\text{)} * 64 \quad \text{Si } 0.01 < \text{CE} < 0.5 \text{ Sm}^{-1}$$

$$\text{SDT (mgL}^{-1}\text{)} = \text{CE (Sm}^{-1}\text{)} * 80 \quad \text{Si } \text{CE} > 0.5 \text{ Sm}^{-1}$$

$$\text{PSI} = ([\text{NaX}] / \text{CIC}) * 100$$

$$\text{RAS} = [\text{Na}^+] / [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]^{1/2}$$

Además, conocemos que los suelos afectados por salinidad se clasifican en:

### 12.5.1. Suelos salinos

Estos suelos se caracterizan por tener una  $\text{EC} > 0.4 \text{ S m}^{-1}$ , un  $\text{PSI} < 15$ ,  $\text{EC}$  indica que son suelos con un elevado contenido en sales solubles, los iones mayoritarios son  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , mientras que el  $\text{Na}^+$  está presente a bajos niveles y ocupa menos del 15% de los sitios de intercambio. La presencia de cationes alcalinotérreos asegura que el pH de ese tipo de suelos no sobrepase 8.5, debido a la formación de depósitos calcáreos, y tiene un pH entre 7.5 y 8.5.

En climas áridos, la elevada concentración iónica provoca la formación de depósitos salinos en la superficie (álcali blanco). Para este tipo de suelos existen problemas de estrés hídrico, presenta una buena permeabilidad. Para rehabilitar estos suelos, hay que realizar un lavado con agua de calidad, de baja conductividad en las zonas de las raíces. El lavado provoca la disolución de las sales y el intercambio de cationes alcalinotérreos por iones  $\text{H}^+$  según el proceso que se describe en la figura 33.

**Figura 33.**

*Intercambio de cationes alcalinotérreos por iones H+*



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

#### 12.5.2. Suelos sódicos

Se caracterizan por una  $\text{EC} < 0,4 \text{ S m}^{-1}$  y un  $\text{PSI} > 15$ . Tienen baja concentración salina que incrementa la estabilidad de los coloides, facilitando su dispersión. La presencia mayoritaria de cationes  $\text{Na}^+$  provoca hinchamiento de silicatos laminares y bloqueo de los macroporos del suelo produciendo la impermeabilización del suelo. El pH es elevado (mayor a 8.5), el humus se encuentra disperso y se deposita en la superficie debido a las pérdidas de agua por evaporación dando lugar a la apariencia de una coloración negra (álcali negro). Para rehabilitar este tipo de suelos se debe aplicar yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) o alguna sal soluble de  $\text{Ca}^{2+}$  para favorecer el intercambio catiónico de  $\text{Na}^+$  por  $\text{Ca}^{2+}$ :

#### 12.5.3. Suelos sódicosalinos

Tienen  $\text{EC} > 0,4 \text{ S m}^{-1}$  y  $\text{PSI} > 15$ , con concentraciones salinas elevadas (buena permeabilidad). Los cationes más preponderantes son los alcalinotérreos ( $\text{Ca}^{2+}$ ), y un pH inferior a 8.5. Para su rehabilitación se adiciona una sal de  $\text{Ca}^{2+}$ , para desplazar los iones  $\text{Na}^+$  de los sitios de intercambio y disminuir el PSI, después se realiza un lavado para disminuir su EC.

### 12.6. Sistemas redox en medios terrestres

Es importante conocer las reacciones químicas de intercambio o transferencia de electrones, que dan lugar a procesos de oxidación y reducción. En los sistemas terrestres, el oxígeno molecular es la especie aceptora de electrones más importante; y no sólo por su abundancia, sino porque presenta una elevada capacidad oxidante que se manifiesta a través del proceso de su reducción, en el que se transforma en  $\text{H}_2\text{O}$ , consumiendo electrones aunque existen muchas otras sustancias pueden

ser las principales ( $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 4H_2O$ ) especies aceptoras y donadoras de electrones.

Por el contrario, la materia orgánica suele ser fuente de compuestos reductores, y actúa como donador de electrones en los medios naturales, simbolizando un compuesto orgánico reductor por  $CH_2O$ , la reacción de oxidación correspondiente es ( $CH_2O + H_2O \rightarrow CO_2 + 4H^+ + 4e^-$ ).

En ríos y lagos profundos, la concentración de oxígeno disminuye con la profundidad, es por eso que cerca de los sedimentos el ambiente es reductor. Además, en estos reservorios profundos se produce un fenómeno de estratificación térmica, cerca de la superficie la temperatura del agua es similar a la atmosférica y va disminuyendo con la profundidad.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, realicen las siguientes actividades, para lo cual pueden revisar el capítulo 3 de Doménech y Peral (2016).

1. Revisar el ejemplo resuelto de la determinación de pH (p. 90).
2. ¿En qué tipo de suelo, calcáreo o silícico, una lluvia ácida origina mayores problemas?
3. ¿Puede acarrear algún problema intentar recuperar un suelo ácido añadiendo disolución de sulfato de sodio?
4. ¿Qué tipo de suelo es más sensible al pH: un suelo arcilloso o un suelo arenoso?
5. El cultivo intensivo de un suelo, ¿tiende a acidificarlo, a alcalinizarlo o bien no afecta al su pH?
6. Un aumento de la fracción húmica del suelo, ¿altera la sensibilidad del suelo al pH?
7. ¿Por qué los suelos salinos suelen ser impermeables?

Una vez que ha culminado de revisar la Unidad 12, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la Autoevaluación 12.



## Autoevaluación 12

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. ¿En medios terrestres el pH varía de 2 a 9?
  - a. Verdadero
  - b. Falso
2. ¿El pH se mantiene constante en medios terrestres?
  - a. Verdadero
  - b. Falso
3. Los climas secos disminuyen la concentración de los cationes en la disolución del suelo.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
4. La acidez que resulta del desplazamiento con una disolución de sal neutra no tamponada, se refiere a:
  - a. Acidez intercambiable.
  - b. Acidez no intercambiable.
5. Para diagnosticar un suelo y verificar si tiene salinidad se suele recomendar analizar:
  - a. Sólidos disueltos totales.
  - b. Conductividad eléctrica.
  - c. Porcentaje de sodio intercambiable.
  - d. Relación de adsorción de sodio.
  - e. A, B y C.
  - f. A, C y D.
  - g. A, B, C y D.
  - h. pH.

6. Los sólidos disueltos totales están relacionados con la conductividad eléctrica.
- Verdadero
  - Falso
7. Los suelos salinos se clasifican en:
- Suelos salinos.
  - Suelos sódicos.
  - Suelos sódicosalinos.
  - A y B.
  - B y C.
  - A, B y C.
  - Ninguna de las anteriores.
8. En climas áridos, la elevada concentración iónica provoca la formación de depósitos salinos en la superficie denominados:
- Álcali blanco.
  - Álcali negro.
9. ¿La materia orgánica es fuente oxidante?
- Verdadero
  - Falso
10. Los suelos sódicosalinos tienen un pH de:
- 7.5 a 8.5
  - Mayor a 8.5
  - Menor a 8.5

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 13. Efectos de los contaminantes en la química de la atmósfera, hidrosfera y litósfera

### 13.1. Importancia de la fabricación y uso de sustancias químicas

Según Ibáñez et al. (2013), los procesos de producción dependen de los materiales y sustancias derivados de la industria química, la cual está ligada a las materias primas que se usa.

### 13.2. Fuentes de sustancias químicas como contaminantes

Las fuentes de contaminantes químicos pueden ser naturales o artificiales y pueden depender del transporte, movilidad y partición de los contaminantes.

#### 13.2.1. Tipos naturales y fuentes de contaminantes

La actividad geológica (erupciones volcánicas) es una fuente natural de contaminación. La mayoría de la contaminación influye en la composición del aire impactando la hidrosfera (depositación seca o húmeda), o por transporte de sedimentos de la escorrentía o la desembocadura de ríos.

#### 13.2.2. Tipos y fuentes antropogénicas de contaminantes

El uso de químicos sintéticos ha aumentado en los últimos años afectando la salud y el ambiente. Se consideran **contaminantes convencionales** a la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales suspendidos, aceites y grasas y pH. Por el contrario, los **contaminantes no convencionales** son amoniaco, cromo (VI), carbono orgánico total, COD/DBO5, etc. Esta información se puede ampliar en el Capítulo 8 de Ibáñez et al. (2013).

#### 13.2.3. Fuentes de contaminación puntuales y no específicas (o multimedia o difusa)

Los efectos de los contaminantes se tratan *in situ*, pero los efectos se perciben incluso en regiones alejadas de la fuente de emisión.

## 13.3. Transporte, movilidad y partición de los contaminantes

### 13.3.1. Partición o coeficientes de distribución

Los fenómenos ambientales implican la transferencia de una sustancia, i de un medio (fase 1) a otro (fase 2). La cantidad transferida se puede cuantificar mediante la medición de la concentración al equilibrio de i en ambos medios. La distribución de i se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

$$K_{i,1,2} = \frac{\text{concentración al equilibrio de } i \text{ en la fase 1}}{\text{concentración al equilibrio de } i \text{ en la fase 2}}$$

## 13.4. Contaminación del aire, agua, suelos y sus efectos

### 13.4.1. Efectos de los contaminantes en la atmósfera

Las fuentes de contaminación del aire pueden ser por fuentes antrópicas y por procesos biogénicos no antropogénicos. Los contaminantes atmosféricos se pueden agrupar en diez grupos:

- Principales contaminantes del aire

Dentro de este apartado tenemos a CO y CO<sub>2</sub>; NOx y N<sub>2</sub>O; SOx; óxidos fotoquímicos, partículas y aerosoles, compuestos metálicos, metaloides y sus vapores, hidrocarburos policíclicos aromáticos y sus derivados, metano y otros compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos halogenados y compuestos orgánicos policlorados y radionúclidos.

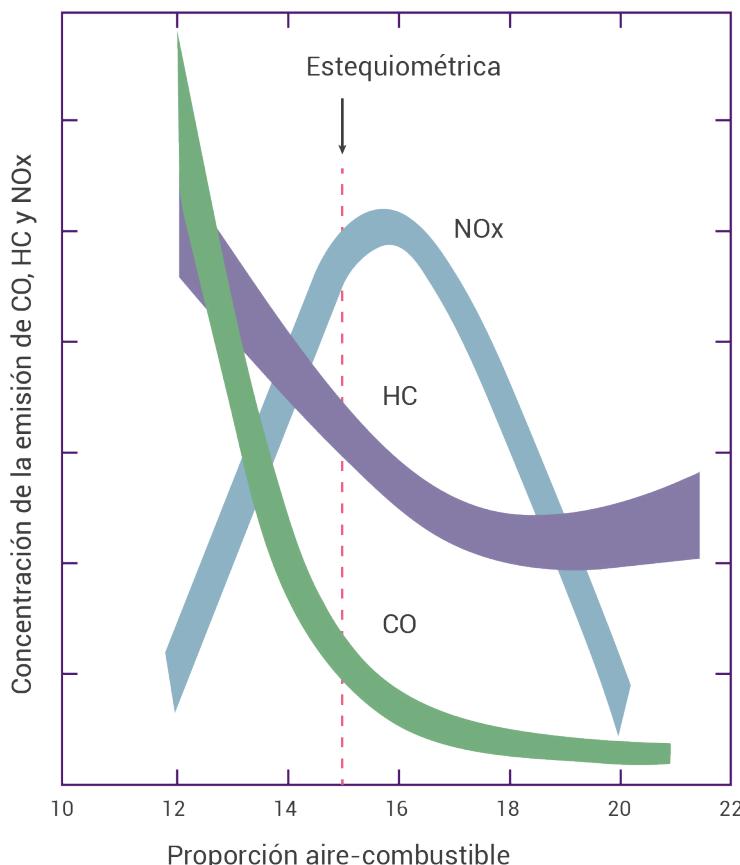
- Los procesos de combustión como la fuente principal de contaminación del aire

Los gases trazas proceden de actividades relacionadas con la combustión que generan contaminantes primarios como: CO, NOx, VOC, y SO<sub>2</sub>.

Cuando la combustión es completa o ideal encaja en la siguiente reacción ( $C_nH_m + (n+m/4)O_{2(g)} \rightarrow nCO_{2(g)} + (m/2)H_2O_{(g)}$ ), liberando CO<sub>2</sub> más agua, pero si la proporción de hidrocarburos con el oxígeno no es correcta, se produce una combustión incompleta (liberando CO y agua) (figura 34) donde se emiten compuestos parcialmente oxidados del carbón con hidrocarburos sin reaccionar.

**Figura 34.**

*El efecto de la relación aire-combustible en la composición de gases de salida*



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

- **El efecto invernadero**

El efecto invernadero se da de forma natural y antropogénica. Este último es considerado un problema global por el aumento de las emisiones de  $\text{CO}_2$  y NOx en la atmósfera. Se considera que al duplicar la concentración de  $\text{CO}_2$ , la temperatura podría aumentar hasta 3.5° C.

- **La formación de smog**

La formación de smog se produce por las reacciones fotoquímicas de los contaminantes primarios. Para que se produzca el smog se necesita: alta radiación solar, dioxígeno, NOx,  $\text{SO}_2$  e hidrocarburos. Los efectos nocivos del smog son muchos en la salud humana, plantas y materiales.

- **Destrucción del ozono estratosférico (agujero en la capa de ozono)**

El agujero en la capa de ozono se encuentra en el Ártico y la Antártida. El ozono filtra los rayos UV emitidos por el sol mediante una fotodisociación.

- **Lluvia ácida**

La precipitación (lluvia) ayuda a limpiar la atmósfera de sustancias mediante dos formas: la primera por la disolución de los compuestos solubles, y la segunda, barriendo las partículas en suspensión. En condiciones normales su pH es ligeramente ácido por la disociación del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua, sin embargo, en ambientes contaminados puede haber óxidos de azufre y de nitrógeno que al disolverse en agua el pH alcanza valores inferiores, formando lluvia ácida.

- **Contaminación interior**

La calidad del aire en lugares cerrados (casa o trabajo) se ve afectada por las actividades humanas, los materiales de construcción, los minerales subterráneos y la contaminación exterior. Los contaminantes de interiores más comunes partículas finas (polvo), aerosoles, esporas de hongos y otros microorganismos. Además, el vapor de agua incrementa los ácaros, mohos y hongos que producen reacciones alérgicas.

#### **13.4.2. Efectos de los contaminantes en la hidrosfera**

Las fuentes de contaminación emiten sustancias químicas que al entrar en contacto con los cuerpos de agua ocasiona graves impactos. Algunos de los contaminantes son:

- **Nutrientes**

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de organismos vivos, pero se considera contaminante cuando sus niveles son excesivos causando eutrofización.

- **Organismos patógenos**

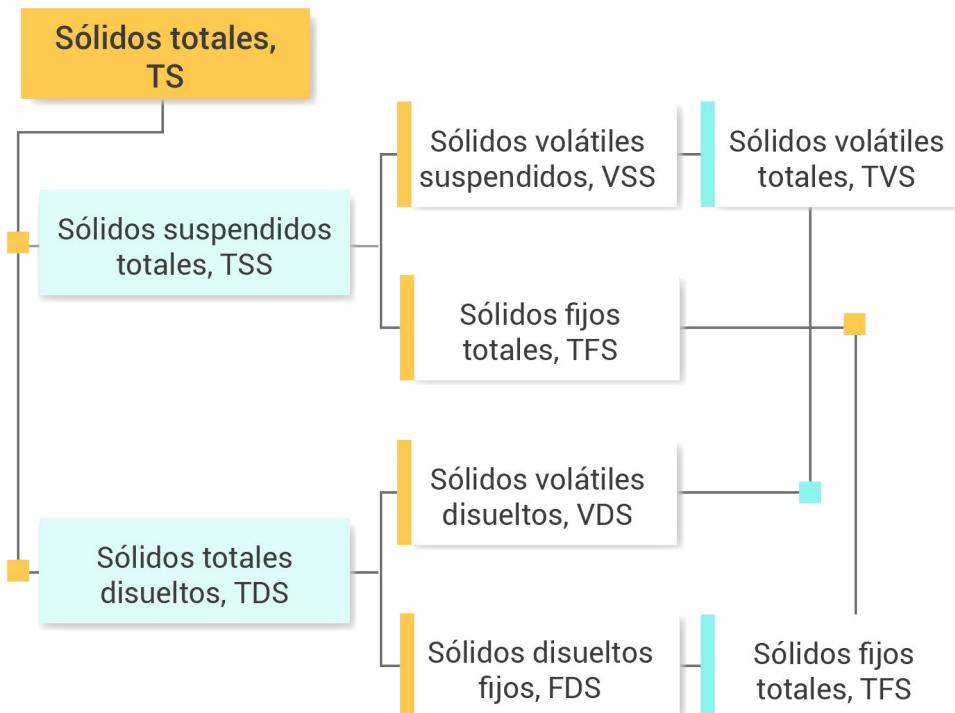
Las aguas residuales sin tratamiento son un riesgo para la salud porque propagan enfermedades infecciosas.

- **Sólidos en suspensión**

Los sólidos se clasifican en diferentes fracciones (figura 35), pero cabe destacar que los sólidos suspendidos totales (TSS) y los sólidos totales disueltos (TDS) incluyen sólidos fijos y volátiles. Las unidades de los sólidos son mg/L.

**Figura 35.**

Tipos de sólidos en aguas



Nota. Tomado de Ibáñez et al. (2013)

- **Derrames de petróleo y grasas**

Los derrames de petróleo representan un gran aporte de hidrocarburos a los cuerpos hídricos ya sea por accidente, por falta de mantenimiento o por negligencia.

- **Compuestos de metales y metaloides**

Muchos metales y sus iones se han esparcido en el ambiente por las actividades humanas. Su disponibilidad y forma química de las especies metálicas acuosas dependen de varios factores como: el pH, naturaleza y

concentración de los agentes complejantes. Además, los metales pueden permanecer en los sedimentos, pero la solubilidad aumenta si el pH disminuye.

- **Radionúclidos**

La principal fuente natural de radioactividad es el radón, y, en cuanto a las fuentes antropogénicas, son accidentes en plantas nucleares y aplicaciones médicas.

- **Los detergentes (surfactantes) y el enriquecimiento de nutrientes**

Cuando los fosfatos entran en contacto con las aguas superficiales se puede formar la eutrofización.

- **Calor**

Las temperaturas altas propician el agotamiento de oxígeno.

#### **13.4.3. Efectos de los contaminantes sobre la litósfera**

La litósfera recibe a los contaminantes de la atmósfera y de la hidrósfera.

- **Transformación de contaminantes en los suelos**

Los contaminantes del suelo pueden filtrarse y terminar en las aguas subterráneas.

- **Transporte, movilidad y reparto de los contaminantes en los suelos**

Los tiempos de residencia de los contaminantes en los suelos son largos, pero la biota juega un papel clave en el transporte y la movilización de los contaminantes del suelo, ya que muchos se bioacumulan.

- **La agricultura y la química de los suelos**

Los suelos reciben grandes cantidades de agroquímicos para los cultivos. Una práctica habitual es el uso de lodos activados como fertilizantes, pero hay que tener precaución porque contamina ya que contiene nitratos, fosfatos, metales pesados y detergentes.

- **Los metales y los procesos mineros**

Los metales se pueden unir a los suelos mediante sustancias húmicas, complejación superficial, o intercambio iónico.

- **Otros residuos y contaminantes en los suelos**

Los tiraderos o botaderos de desechos es una práctica muy común.



### **Actividades de aprendizaje recomendadas**

Estimado estudiante, realice la siguiente actividad:

1. Revise el capítulo 8 de Ibáñez (2013) y realice un esquema mental individual de los efectos de los contaminantes en la atmósfera, hidrósfera y litósfera.

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 13, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 13.



## Autoevaluación 13

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. Seleccione la fuente natural de contaminación
  - a. Procesos industriales.
  - b. Agricultura.
  - c. Erupción volcánica.
2. Se tiene contaminantes convencionales y no convencionales, pero cuando hablamos de aceites y grasas se trata de:
  - a. Contaminante convencional.
  - b. Contaminante no convencional.
3. Se tiene contaminantes convencionales y no convencionales, pero cuando hablamos de amoniaco se trata de:
  - a. Contaminante convencional.
  - b. Contaminante no convencional.
4. Los parámetros que forman parte del criterio de calidad del aire son:  
CO, Pb, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y SO<sub>2</sub>.
5. Se libera CO y agua en:
  - a. Combustión completa.
  - b. Combustión incompleta.
  - c. A y B.
6. El efecto invernadero es natural y antropogénico.
  - a. Verdadero
  - b. Falso

7. Para que se produzca el smog se necesita: alta radiación solar, dioxígeno, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, hidrocarburos y partículas que sirven como núcleos de reacción.
- Verdadero
  - Falso
8. El agotamiento del ozono es conocido como el agujero en:
- El efecto invernadero.
  - La capa de ozono.
  - El smog.
9. La contaminación interior es la que se da en nuestros hogares o lugares de trabajo.
- Verdadero
  - Falso
10. La principal fuente natural de radioactividad es el:
- Xenón.
  - Radón.
  - Uranio.

[Ir al solucionario](#)



En esta semana veremos la química relativa a la presencia de contaminantes en sistemas terrestres donde abordaremos procesos químicos específicos de los contaminantes más comunes, y que determinan su comportamiento y su destino final. Por tanto, les recomiendo que revisen el capítulo 4 del texto base.

## **Unidad 14. Comportamiento y destino de los contaminantes en los sistemas terrestres**

---

En esta unidad analizaremos el comportamiento químico de metales pesados y de contaminantes orgánicos biorrecalcitrantes que representa un riesgo de afectación a amplias zonas del planeta.

### **14.1. Metales: Emisiones e impacto ambiental**

Los elementos metálicos son relativamente poco abundantes en los sistemas ambientales, pero los más abundantes son los de los primeros períodos de cada grupo. Los metales alcalinos y alcalinotérreos más ligeros (Na, K, Mg y Ca) son abundantes en forma catiónica. Respecto a los metales de transición (períodos 3 y 4) forman parte de minerales (Al, Mn, Fe, Cu, Zn y Ti), que se encuentran en las fases sólidas como óxidos y aluminosilicatos, pero son poco solubles. Los elementos traza son elementos metálicos que están presentes en los sistemas acuosos a muy baja concentración. Son esenciales para las plantas y los animales, sin embargo, cuando están presentes en sistemas ambientales a concentraciones superiores pueden ser tóxicos.

Las fuentes de ingreso de los metales pesados están dadas por dos vías: natural mediante la meteorización química de las rocas y la segunda, por vía antropogénica, pues está dando lugar a un aumento continuo de la concentración ambiental de algunos de estos metales pesados. Algunas fuentes antropogénicas se describen a continuación:

#### [\*\*Fuentes antropogénicas\*\*](#)

Se considera que el total de emisiones de metales traza (Mn y Zn) a la hidrosfera es  $10^9$  kg/año, cuyos aportes principales son por el vertido de aguas residuales domésticas, las plantas térmicas, las fundiciones y las plantas de producción de acero. El orden de flujos de emisión de metales a la hidrosfera es:



## 14.2. Comportamiento ambiental de los metales pesados

Continuemos con el aprendizaje mediante la revisión de este importante tema.

La toxicidad de los metales pesados depende de su concentración y de la especiación química, por lo tanto, se suele clasificar a los metales en:

- **Los metales de tipo A:** son los elementos alcalinos, alcalinotérreos y catión  $\text{Al}^{3+}$ , presentan una configuración electrónica de gas inerte ( $d^0$ ). Los cationes forman complejos con ligandos (carácter electrostático) que contengan oxígeno y flúor, forman complejos muy débiles con oxoaniones (sulfato y nitrato), y, forman compuestos insolubles con los aniones  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  o  $\text{PO}_4^{3-}$ . Algunos ejemplos de macronutrientes son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ .
- **Los cationes de metales de tipo B o elementos calcófilos:** presentan configuraciones  $nd^{10}$  y  $nd^{10}(n + 1) s^2$ , algunos ejemplos son:  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  o  $\text{Ag}^+$ . Forma ligandos covalentes y el orden de estabilidad de los complejos es:  $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Zn}$ . Algunos ejemplos de micronutrientes son Mn, Mo, Cu, Co, Sc y V.
- **Los cationes de metales de transición:** son capaces de formar complejos con cualquier tipo de ligando, estableciendo enlaces de coordinación con una elevada contribución electrostática. En general, la toxicidad de los cationes metálicos aumenta en el sentido: tipo A < transición < tipo B.

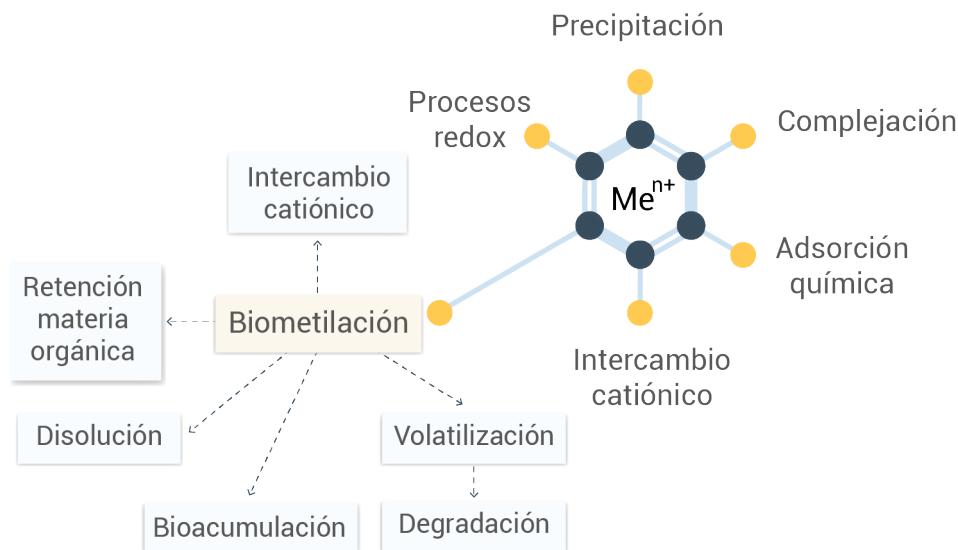
En la figura 36 se muestra los procesos que sufre un catión metálico en un sistema ambiental. Su comportamiento depende del pH del medio.

- En medios neutros-ácidos, el catión metálico se encuentra libre en disolución, bien hidratado o formando complejos con especies donadoras presentes en el medio. Además, puede adsorberse en las fases sólidas del medio (fase sólida del suelo, coloides en la disolución del suelo, partículas en suspensión).
- A pH superior precipita, formando hidróxidos insolubles. La presencia de aniones como etc. también puede ocasionar la precipitación del catión metálico. En esos ambientes, la actividad del elemento metálico en el medio acuoso es mínima.
- A pH alcalino se forman hidroxocomplejos con carga negativa solubles, y la actividad (movilidad) del metal se incrementa.
- A pH neutral en medio acuoso, la movilidad de los metales suele ser mínima.
- A pH muy ácido, el H<sup>+</sup> desplaza a los cationes metálicos adsorbidos produciendo su lixiviación y existe un riesgo de que aparezcan elementos metálicos en los acuíferos subterráneos.

La movilidad de un elemento metálico depende del movimiento del medio acuoso edáfico por los poros del suelo. En climas áridos, el movimiento es ascendente por lo que los metales se acumulan en la superficie. En climas húmedos los metales se desplazan hacia horizontes profundos, sin embargo, las raíces pueden interceptar los metales móviles y favorecer su acumulación en la planta. Cuando la vegetación muere, la materia orgánica se transforma en humus y retiene el metal en la superficie del suelo produciendo problemas de fitotoxicidad según la naturaleza del elemento metálico.

**Figura 36.**

Procesos que sufre un catión metálico en un sistema ambiental



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

### 14.3. Biometilación

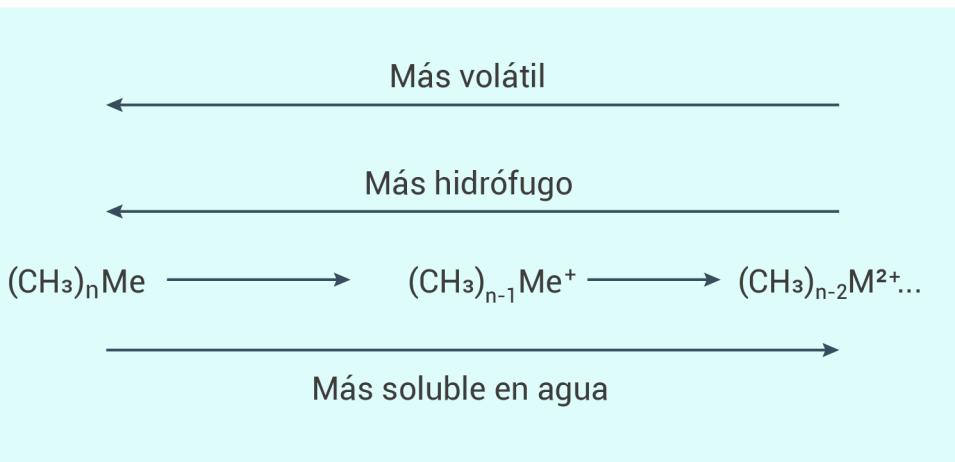
La biometilación es el proceso de transformación del metal en el ambiente. La metilación se produce cuando se enlazan grupos metilo al elemento metálico, lo cual, produce cambios en sus propiedades fisicoquímicas (solubilidad, volatilidad y propiedades químicas). Ejemplos de metales que pueden metilarse son: Hg, Pb, Sn, Ge, Si, As, Se y Te. En la Figura 37 vemos las propiedades de los compuestos metálicos según su grado de metilación.

La biometilación ocurre en el medio hidrosférico, en el suelo y los sedimentos. Además, las propiedades fisicoquímicas de los compuestos metálicos metilados dependen del grado de metilación, porque la temperatura de fusión disminuye al aumentar el grado de metilación (más volátil); la solubilidad en el agua disminuye al aumentar el grado de metilación; los compuestos totalmente metilados poseen una elevada presión de vapor, con lo que se volatilizan transfiriéndose a la atmósfera y en la atmósfera, se fotodescompone cuando el compuesto organometálico absorbe luz como en el caso del dimetilmercurio que requiere luz ultravioleta para su descomposición.

En los medios edáfico e hidrosférico, los compuestos metilados presentan toxicidad, cuya intensidad depende del grado de metilación y la máxima toxicidad se da cuando los compuestos han perdido un metilo puesto que combinan una elevada hidrofobicidad con cierta solubilidad en el agua, por lo que son asimilables por organismos vivos.

**Figura 37.**

*Propiedades de compuestos metálicos metilados según su grado de metilación*



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

#### 14.4. Procesos de complejación en el medio ambiente

Las substancias orgánicas e inorgánicas con capacidad de actuar como ligandos puede incrementar la concentración de metales pesados en el medio acuoso, lo que facilita la movilidad y su asimilación por los organismos vivos.

La presencia de agentes complejantes en el medio hidrosférico produce un aumento de la solubilidad del catión metálico. Los cationes metálicos en las aguas de un río o lago se encuentran precipitados en los sedimentos como hidróxido, sulfuro o carbonato (movilidad muy baja), pero cuando hay aguas ricas en material húmico, se forman compuestos de coordinación y aumenta la movilidad.

## 14.5. Comportamiento y destino de algunos metales pesados tóxicos

En este apartado vamos a estudiar el comportamiento ambiental de ciertos elementos.

### Comportamiento y destino de metales pesados

## 14.6. Comportamiento ambiental de los contaminantes orgánicos

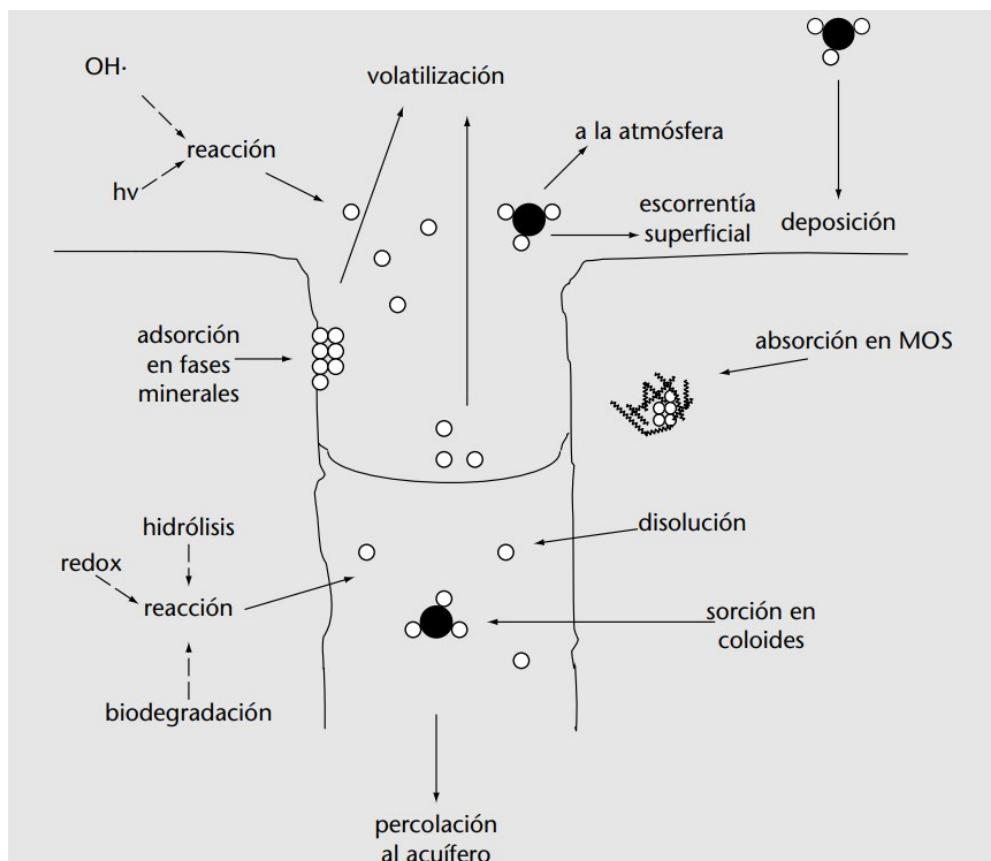
La contaminación del sistema terrestre por contaminantes orgánicos se da por dos tipos de aplicaciones: **directas** como es el caso de los productos fitosanitarios en las prácticas agrícolas, o **indirectas**, el compuesto orgánico está presente como un componente más en la formulación del producto y una vez usado se libera (detergentes o con aditivos de productos).

El origen de la contaminación orgánica en el suelo es diverso, pero la fuente más importante es la aplicación directa de pesticidas y herbicidas para el control de plagas, pero también por las fugas de compuestos químicos almacenados en tanques soterrados o las fugas de aguas residuales de fosas sépticas. El contaminante orgánico sufre cierto grado de retención (en fases sólidas minerales como en las orgánicas). Esta retención inmoviliza al contaminante, lo que impide su transferencia a otros medios y retarda su degradación. La degradación ocurre, sobre todo, en los medios fluidos: atmósfera e hidrosfera.

En cuanto a la degradación del contaminante orgánico en el suelo se da mediante procesos de biodegradación, debido a la elevada concentración de microorganismos que catalizan diversas reacciones químicas en el medio edáfico. El contaminante orgánico accede a los medios fluidos por volatilización y disolución (figura 38).

**Figura 38.**

Principales destinos de un contaminante orgánico en el suelo.

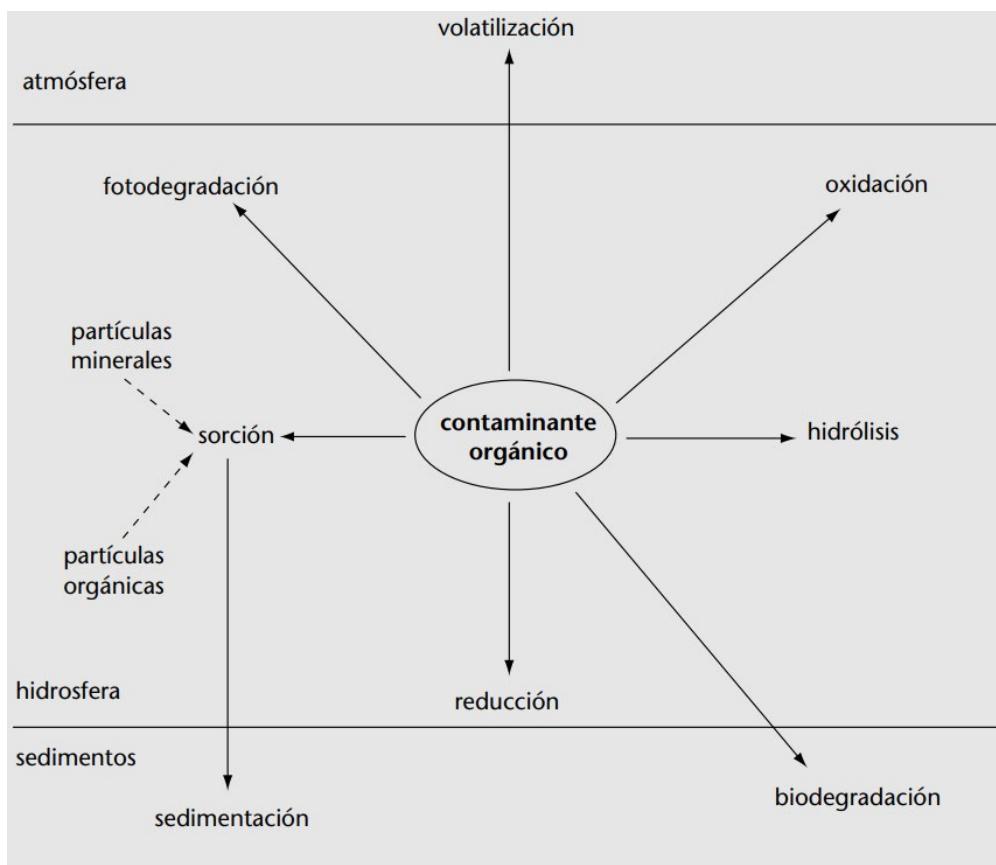


Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

En cuanto a la volatilización (figuras 38 y 39), sabemos que es un mecanismo importante de eliminación de contaminantes orgánicos del suelo ya sea de las moléculas sorbidas en las fases sólidas o de las moléculas disueltas en la disolución del suelo. La **presión de vapor** define la capacidad de una substancia para volatilizarse y se conoce como una magnitud termodinámica que corresponde a la presión que ejerce un gas en equilibrio con su fase pura condensada más estable a la temperatura indicada.

**Figura 39.**

Principales destinos de un contaminante orgánico en el medio hidrosférico



Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)

## 14.7. Procesos bióticos y abióticos de degradación

A continuación, detallaremos los procesos de degradación más relevantes que tienen lugar en sistemas terrestres.

### 14.7.1. Reacciones de hidrólisis

El agua actúa como reactivo propiciando procesos de rotura de moléculas orgánicas (reacciones de sustitución nucleófila) donde participa un agente nucleófilo, es decir, una especie que tiene una carga negativa o que posee en su molécula zonas de alta densidad electrónica. La reacción ocurre a través del ataque del agente nucleófilo sobre una molécula con zonas de empobrecimiento de carga electrónica. A parte del agua hay otras moléculas que tienen esta capacidad como son los aniones ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{SH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  ó  $\text{NO}_3^-$ ).

Además, la velocidad de la hidrólisis se incrementa si el nucleófilo que actúa es el OH<sup>-</sup> (hidrólisis básica) o por iones H<sup>+</sup> (hidrólisis ácida).

#### 14.7.2. Reacciones fotoquímicas

La incidencia de luz ocasiona la transformación o degradación (fotodegradación) de compuestos orgánicos. Sin embargo, conocemos que en los sistemas hidrosféricos la intensidad de la luz solar disminuye con la profundidad a causa de la absorción de luz por parte del agua y de los compuestos disueltos y en suspensión. La absorción de luz por parte de una molécula puede ocasionar la rotura de enlaces cuando la energía de los fotones absorbidos sea igual o superior a la energía de los enlaces. Esto degrada la substancia original (reacciones fotoquímicas directas) y da lugar a la formación de compuestos transitorios que inducen la degradación de otras especies presentes en el medio (reacciones fotoquímicas indirectas). Recomiendo que se profundice en el capítulo 4 del texto básico donde se explica los dos tipos de reacciones.

#### 14.7.3. Biodegradación

En la biodegradación, la rotura de la molécula de compuesto orgánico está catalizada por enzimas específicos. Estos procesos bióticos pueden clasificarse en dos grandes grupos: las transformaciones microbiológicas y las realizadas por organismos superiores.

Los microorganismos responsables de los procesos de biodegradación más numerosos y activos son las bacterias, pero también cabe señalar la participación de otras especies, como hongos, algas, protozoos o virus. La población de microorganismos en un medio en particular depende del contenido de materia orgánica que aumenta con el incremento de ésta.

Las bacterias heterótrofas son capaces de utilizar compuestos orgánicos complejos para obtener energía, degradándolos a compuestos simples inorgánicos (mineralización), como: dióxido de carbono, amonio, nitrato, sulfato etc. Un factor esencial para el desarrollo de estos procesos bióticos es la presencia de nutrientes para mantener la población de microorganismos (C, N y P), y su disponibilidad es un parámetro que controla la actividad de los microorganismos heterótrofos en sistemas acuáticos.

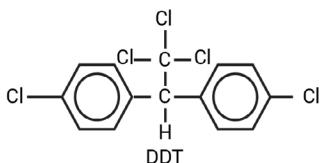
## 14.8. Comportamiento ambiental de los pesticidas

A lo largo del tiempo, se ha aplicado insecticidas para matar insectos, herbicidas para el control de la maleza, fungicidas para inhibir el crecimiento de hongos, bactericidas para eliminar bacterias, por lo cual, en esta sección abordaremos el destino y comportamiento ambiental de los pesticidas.

Los principales pesticidas son los organoclorados, organofosforados y carbamatos, cuyas características se detallan en la tabla 18.

**Tabla 18.**

*Tipos de pesticidas y sus características*

| Pesticidas        | Características  | Fórmula  |
|-------------------|--|--|
| Órgano-clorados   | Tienen una gran estabilidad química, bajas solubilidades y elevada toxicidad para los insectos, pero baja para los seres humanos.<br><br>El ejemplo más claro es el DDT, es una molécula clorada de elevado peso molecular, tiene dos núcleos aromáticos, baja volatilidad, inercia química, con una persistencia en suelos de hasta 5 años, y reactividad en medios anaerobios, de la que resulta el DDD. | <br>DDT  |
| Órgano-fosforados | En la fórmula X es un átomo de O ó de S, R' y R'' son $\text{OCH}_3$ o $\text{OCH}_2\text{H}_3$ y R puede ser alifático o aromático.<br><br>Son menos persistentes porque se degradan por hidrólisis generando compuestos más solubles y fácilmente degradables.<br><br>Son más tóxicos para los seres humanos.  | $\begin{array}{c} \text{X} \\    \\ \text{R} - \text{X} - \text{P} - \text{OR}' \\   \\ \text{OR}'' \end{array}$                               |
| Carbamatos        | Son derivados del ácido carbámico ( $\text{H}_2\text{N}-\text{COOH}$ ).<br><br>Según cuáles sean los heteroátomos X e Y, se distinguen tres grupos:  | $\begin{array}{c} \text{X} \\    \\ \text{R} \quad \text{N} - \text{C} - \text{Y} - \text{R}'' \\ / \quad \backslash \\ \text{R}' \end{array}$ |

Nota. Tomado de Doménech y Peral (2016)



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, realicen la siguiente actividad:

1. Leer el Recuadro 4.2 Contaminantes de largo alcance, de la página 180 del texto base Doménech y Peral (2016).

Una vez que ha culminado de revisar la unidad 14, es hora de medir el grado de conocimiento adquirido, por lo tanto, le invito a desarrollar la autoevaluación 14.



## Autoevaluación 14

Lea detenidamente cada uno de los siguientes enunciados y señale una alternativa de respuesta como correcta:

### Preguntas de falso y verdadero y de opción múltiple con una respuesta

1. Los metales que se emiten en mayor cantidad son:
  - a. Ni y Cu.
  - b. Cd y Hg.
  - c. Mn y Zn.
2. Los metales pesados se clasifican en:
  - a. Tipo A, tipo B y metales de transición.
  - b. Tipo 1, tipo 2 y tipo 3.
  - c. Tipo A, tipo B y tipo C.
3. ¿Qué metales tienen una configuración electrónica de gas inerte ( $d^0$ )?
  - a. Tipo A.
  - b. Tipo B.
  - c. Metales de transición.
4. Un catión metálico que está en un sistema ambiental a pH neutro-acidos se encuentra:
  - a. En disolución.
  - b. Precipitado.
5. ¿Cómo es la movilidad de un catión metálico en medio acuoso que está en un sistema ambiental a pH neutral?
  - a. Máxima.
  - b. Mínima.

6. En climas áridos, el movimiento de los elementos metálicos es descendente por lo que los metales se acumulan en la superficie.
  - a. Verdadero
  - b. Falso
7. ¿Existe toxicidad en dependencia del número de compuestos metilados?
  - a. Verdadero
  - b. Falso
8. ¿Existe una relación directa entre los grupos metilados en un elemento metálico y el cambio en las propiedades físico-químicas?
  - a. Verdadero
  - b. Falso
9. En cuanto a los contaminantes orgánicos, ¿de qué tipo de aplicación son los detergentes?
  - a. Aplicación directa.
  - b. Aplicación indirecta.
10. ¿Cuál es el parámetro que define la capacidad de una substancia para volatilizarse?
  - a. Temperatura.
  - b. Presión de vapor.
  - c. Combustión.

[Ir al solucionario](#)



## Semana 16

---

Estimados estudiantes, en esta semana realicen la revisión y afirmación de todo lo aprendido para el desarrollo de la evaluación del segundo bimestre que abarca todas las unidades didácticas vistas hasta el momento.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, les recomiendo que revisen los capítulos del 8 al 14 de la guía didáctica virtualizada, y los capítulos de los textos complementarios que se han descrito para cada unidad.



## 4. Solucionario

| Autoevaluación 1 |           |  |
|------------------|-----------|--|
| Pregunta         | Respuesta | Retroalimentación  |
| 1                | a         | Las condritas son las más abundantes.  |
| 2                | d         | Los asteroides son cuerpos rocosos, más pequeños que planetas, cuyas órbitas se sitúa entre Marte y Júpiter.   |
| 3                | c         | Los cometas siempre apuntan dirección opuesta al sol.  |
| 4                | a         | Se tiene una división o clasificación en tres grupos dependiendo del tamaño, densidad y composición en planetas terrestres, gigantes, helados exteriores.  |
| 5                | a         | Verdadero, y se distingue: discontinuidad de Mohorovicic (transición entre corteza y manto), discontinuidad de Gutenberg (transición entre manto y núcleo) y discontinuidad de Wiechert-Lehmann-Jeffrys (transición entre núcleo externo e interno). |
| 6                | b         | En la corteza oceánica se tiene tres capas sísmicas.   |
| 7                | a         | Las muestras deben transportarse y almacenarse adecuadamente, además, se debe homogeneizar la muestra de forma tal que la variabilidad en el submuestreo sea minimizada, garantizando la representatividad.  |
| 8                | a         | Verdadero, se conoce como volatilización cuando se somete la muestra a altas temperaturas producidas por una descarga eléctrica.   |
| 9                | a         | Verdadero, se deteriora la muestra cuando se ataca con ácidos concentrados y calientes (extracción caliente), a 100°C o más como el ácido nítrico, perclórico, clorhídrico, sulfúrico o fluorhídrico.  |
| 10               | b         | Falso, puesto que la espectrometría de plasma se usa para determinar concentraciones trazas de elementos.  |

Ir a la  
autoevaluación

## Autoevaluación 2

| Pregunta | Respuesta | Retroalimentación   |
|----------|-----------|---|
| 1        | a         | Es de esperar que el boro tenga la energía de ionización más pequeña porque la energía de ionización aumenta dentro de un periodo (de izquierda a derecha).                                   |
| 2        | b         | Es de esperar que el cesio tenga la energía de ionización más pequeña porque la energía de ionización disminuye dentro de un grupo, conforme el número atómico aumenta.                       |
| 3        | d         | El magnesio pertenece a la familia de los halógenos y le falta un electrón para llegar al octeto electrónico.   |
| 4        | c         | El magnesio pertenece a la familia de alcalinotérreos y posee dos electrones en su última capa de valencia, tiene mucha facilidad para compartir o perder los electrones.                     |
| 5        | b         | El carbono pertenece a la familia de los carbonoides y tiene cuatro electrones en su última capa de valencia.   |
| 6        | a         | El argón pertenece a la familia de los gases nobles y tiene estabilidad electrónica porque tiene ocho electrones en su última capa de valencia.   |
| 7        | b         | La energía de ionización es la cantidad de energía necesaria para extraer un electrón de un átomo gaseoso neutro en su estado basal.  |
| 8        | d         | Los gases nobles tienen la energía de ionización más grande porque ya tienen su estado de estabilidad electrónica completa, y por tanto son poco reactivos.                                   |
| 9        | a         | El magnesio tiene una energía de la primera ionización más pequeña que la del S y mayor tendencia a formar un ion positivo. La carga nuclear es mayor en un átomo de S que en un átomo de Mg. |
| 10       | b         | El litio tiene una energía de la primera ionización más pequeña que la del F y mayor tendencia a formar un ion positivo. La carga nuclear es mayor en un átomo de F que en un átomo de Li.    |

Ir a la  
autoevaluación

| Autoevaluación 3 |           |   |
|------------------|-----------|---|
| Pregunta         | Respuesta | Retroalimentación   |
| 1                | b         | El silicio es el componente principal de la arcilla común, de él se forma en lo fundamental la arena de las riberas fluviales, los asperones y las pizarras.  |
| 2                | a         | La cantidad relativa de carbono existente en la Tierra no es muy elevada pero el papel que desempeña en la química de la Tierra es enorme, sin él, no habría vida.  |
| 3                | b         | El contenido de fósforo en los huesos determina el crecimiento y desarrollo normal de las células de la médula ósea.  |
| 4                | a         | Las investigaciones han demostrado que el potasio, junto con el sodio y el calcio, son extraídos con facilidad por las raíces de las plantas. Las plantas no pueden vivir sin potasio.                    |
| 5                | b         | Se fortalecen ciertas propiedades del metal, concediéndole mayor dureza, tenacidad y estabilidad, cuando se adiciona a las aleaciones algunos metales como el cromo, níquel, vanadio, wolframio y niobio. |
| 6                | b         | El sial se forma por combinación de las primeras sílabas de las denominaciones latinas de los elementos silicio y aluminio.   |
| 7                | a         | El oro se caracteriza por su peso específico, al igual que los metales del grupo del platino, es uno de los elementos más pesados de la corteza terrestre.  |
| 8                | b         | Los geoquímicos han calculado que la proporción de yodo en la corteza terrestre viene a ser de una o dos cienmilésimas por ciento; no obstante, el yodo existe en todas partes.                           |
| 9                | b         | El estroncio se emplea en la producción del azúcar, en la industria militar, en la metalurgia, en la fabricación de fuegos artificiales.  |
| 10               | b         | El calcio es uno de los átomos más móviles y energéticos del universo.  |

[Ir a la autoevaluación](#)

| Autoevaluación 4 |           |  |
|------------------|-----------|--|
| Pregunta         | Respuesta | Retroalimentación  |
| 1                | a         | La desintegración radiactiva nos proporciona los trazadores naturales de los procesos geológicos y proporciona información sobre las velocidades y caminos seguidos por la evolución geológica.  |
| 2                | a         | La naturaleza nos proporciona estos trazadores en forma de isótopos radiactivos que son producto de la radiactividad natural y estos trazadores se han estado moviendo a través de la Tierra desde su origen.  |
| 3                | b         | Los núcleos con número par de protones y neutrones son más estables que aquellos con números impares, además de ser núcleos más comunes.   |
| 4                | a         | El fotón emitido a través de la desintegración de núcleos inestables se llama un rayo gamma. Una partícula alfa es simplemente un núcleo de helio. La desintegración beta es un proceso en el que cambia la carga de un núcleo, pero no el número de nucleones.  |
| 5                | a         | Este sistema fue uno de los primeros y sigue siendo muy empleado como trazador geoquímico. Una ventaja importante del sistema son las variaciones relativamente grandes de la proporción Rb/Sr en las rocas, debido a la diferencia en las propiedades geoquímicas de los dos elementos. El Rb es altamente soluble y muy incompatible, mientras que el Sr es relativamente soluble y bastante incompatible en sistemas máficos pero es compatible en sistemas ígneos ricos en sílice. |
| 6                | a         | La Tierra constantemente es bombardeada por rayos cósmicos, son núcleos atómicos, principalmente H, despojados de sus electrones.  |
| 7                | b         | Los efectos nucleares de la radiación cósmica son bastantes triviales, por ejemplo, el nitrógeno y oxígeno son principalmente afectados, pero no hay cambios significativos en las concentraciones isotópicas de estos elementos.  |
| 8                | a         | Los nucleidos son creados directamente a través de la espalación ( $\text{Be}^{10}$ ) o por reacciones nucleares con partículas producidas por espalación ( $\text{C}^{14}$ , $\text{N}^{14}$ ).   |
| 9                | b         | La geoquímica del isótopo estable trata de las variaciones de las composiciones isotópicas de elementos que surgen de los procesos físico químicos en lugar de procesos nucleares.   |
| 10               | a         | Los procesos biológicos involucran fraccionamientos isotópicos durante la producción inicial de materia orgánica por los productores primarios o autótrofos y el medio más importante de producción es la fotosíntesis.  |

[Ir a la autoevaluación](#)

## Autoevaluación 5

| Pregunta | Respuesta | Retroalimentación   |
|----------|-----------|---|
| 1        | c         | Los elementos se clasifican en: Nutrientes esenciales (C, H, O, N, S, P), elementos menores (Mg, K, Na, halógenos) y elementos traza (B, Co, Cu, Mo, Ni, Se, Sn, V, Zn).  |
| 2        | a         | Correcto, el sol es el motor energético que produce la evaporación.   |
| 3        | c         | En las plantas, el agua se introduce por las raíces y se traslada a los órganos de intercambio de gases (las hojas), donde se evapora rápidamente; esto se llama transpiración y es responsable de gran parte del agua que entra en la atmósfera.                                       |
| 4        | b         | El depósito de carbono que se recicla más activamente es el CO <sub>2</sub> atmosférico (que constituye 0.034% de la atmósfera).  |
| 5        | b         | Las bacterias más eficientes que consumen hidrógeno pertenecen al género alcaligenes.   |
| 6        | b         | La glucosa se utiliza como sustrato para la respiración.  |
| 7        | c         | El ciclo del carbono también describe al ciclo del oxígeno, ya que estos átomos se combinan a menudo.   |
| 8        | b         | El nitrógeno gaseoso puede ser fijado de la atmósfera en dos formas básicas: en la primera, los rayos proporcionan la energía para oxidar al nitrógeno y generar nitratos; y la segunda es la fijación biológica del nitrógeno molecular, la cual se lleva a cabo por varias bacterias. |
| 9        | b         | La materia orgánica viva y muerta constituye un depósito de azufre más pequeño y que se recicla rápidamente.  |
| 10       | b         | Los fosfatos se combinan con el calcio, los hacen insolubles y hace que no estén disponibles para las plantas y microorganismos.  |

Ir a la  
autoevaluación

## Autoevaluación 6

| Pregunta | Respuesta | Retroalimentación   |
|----------|-----------|---|
| 1        | b         | La química ambiental se enfoca en reacciones relacionadas con los ciclos biogeoquímicos. Reacciones que afectan el crecimiento de plantas y el sostenimiento de organismos. Reacciones y procesos que involucran formaciones y transformaciones geoquímicas, entre otras actividades.               |
| 2        | b         | Las sustancias xenobióticas son generadas e introducidas por el ser humano al ambiente.   |
| 3        | b         | La representatividad es un aspecto básico en la fase de muestreo.   |
| 4        | b         | La remediación sirve para limpiar el sitio o cualquier otro espacio ambiental que fue contaminado.  |
| 5        | b         | Es un proceso de remediación porque los productos representan un riesgo mucho menor que los contaminantes originales.   |
| 6        | b         | La industria química sustentable emplea los procesos químicos verdes.   |
| 7        | a         | El uso de procesos fotocatalíticos, los cuales involucran la activación fotoquímica de semiconductores que actúan como catalizadores de procesos redox que transforman, de manera eficiente, a contaminantes orgánicos e inorgánicos en otras sustancias menos peligrosas.                          |
| 8        | a         | Correcto, y se da en muchos países debido a las exigencias industriales.  |
| 9        | a         | Correcto, esa es una de las características de la química verde.  |
| 10       | a         | El ciclo natural de las especies químicas se ha alterado debido a la actividad humana (descarga de efluentes contaminados que no pueden ser asimilados), produciendo un impacto al ambiente y a la salud debido a las altas concentraciones de compuestos en las matrices ambientales y organismos. |

Ir a la  
autoevaluación

| Autoevaluación 7 |           |   |
|------------------|-----------|---|
| Pregunta         | Respuesta | Retroalimentación   |
| 1                | c         | El aire puede definirse como una mezcla gaseosa que da sustento a la vida en la Tierra debido a la presencia de oxígeno molecular.  |
| 2                | b         | Las principales capas de interés en la química atmosférica son la tropósfera y la estratosfera. La tropósfera se extiende desde el nivel del suelo hasta un nivel de 10 a 15 km, dependiendo de la latitud y época del año.   |
| 3                | b         | La tropósfera es el estrato en el que el clima de la Tierra se genera y es también dentro de esta capa que la contaminación del aire tiene lugar.   |
| 4                | c         | La altura a la que se observa la temperatura máxima es llamada estratopausa.  |
| 5                | a         | Correcto, es un proceso de la química atmosférica muy importante.   |
| 6                | b         | Los gases más ligeros, como el metano, el amoniaco y el hidrógeno, fueron capturados por la Tierra, formaron su primera atmósfera; mientras que el oxígeno molecular no formó parte de esta atmósfera.  |
| 7                | c         | Los componentes de la atmósfera pueden ser:<br><br>Geogénico, actividades de la corteza terrestre sin la participación de organismos vivos (actividad volcánica).<br><br>Biogénico, actividad biológica que produce o consume químicos (el oxígeno que se involucra en procesos de fotosíntesis y respiración).<br><br>Antropogénico, químicos producidos por la actividad humana (lluvia ácida). |
| 8                | b         | El metano es 21 veces más eficiente que el dióxido de carbono frente al efecto invernadero.   |
| 9                | a         | Correcto, los aerosoles alteran el proceso radiativo de la Tierra y, por ello, afectan su temperatura y clima. Un componente muy importante de los aerosoles es el carbón negro (hollín), el cual se libera de los procesos de quema de combustibles fósiles y biomasa.   |
| 10               | b         | Las reacciones de Chapman explican la química de la estratosfera, específicamente de formación y generación de ozono.   |

Ir a la  
autoevaluación

| Autoevaluación 8 |           |  |
|------------------|-----------|--|
| Pregunta         | Respuesta | Retroalimentación  |
| 1                | c         | A causa de su alta electronegatividad, los átomos de oxígeno atraen la densidad electrónica del enlace O-H, generando fuertes dipolos que se atraen entre sí y que forman nuevas interacciones conocidas como puentes de hidrógeno.  |
| 2                | i         | En el agua subterránea se estima que tarda 10000 años.   |
| 3                | f         | Se considera que la composición del agua depende de varios factores que son: La naturaleza geoquímica del manto rocoso, los régimenes de intemperizado, las condiciones climáticas del ambiente, los procesos biogeoquímicos que tienen lugar en la zona, y, la química de los componentes del manto rocoso.   |
| 4                | a         | El $\text{HCO}_3^-$ se encuentra disuelto en aguas de ríos en una concentración de 30.5 - 58.4 mg/L.   |
| 5                | a         | El estrato superficial de los lagos se llama epilimnion, el hipolimnion hace referencia a los estratos inferiores más densos y la termoclina es la zona intermedia de transición.  |
| 6                | e         | El agua subterránea dulce constituye menos de 1% de la cantidad de agua total en la Tierra y comprende aproximadamente 98% del agua dulce apta para el consumo humano.   |
| 7                | c         | El principal ion presente en el agua del océano es el $\text{Cl}^-$ (anión) con una concentración de 19000 - 19500 ppm.  |
| 8                | b         | El agua salobre es agua con un contenido de sal mayor que el del agua fresca, pero menor que el del agua de mar.   |
| 9                | e         | La disolución de oxígeno en el agua también se ve afectada por la temperatura ambiente, la presión y la salinidad del agua o el contenido de sales disueltas.  |
| 10               | f         | El dióxido de carbono en el agua proviene de la disolución del aire, de la producción y disolución a partir de procesos fotosintéticos en ausencia de luz, de los procesos aerobios que tienen lugar dentro del principal cuerpo del agua, de los procesos anaerobios de los sedimentos del fondo del cuerpo del agua, y, de las emisiones subterráneas volcánicas como respiraderos volcánicos. |

Ir a la  
autoevaluación

### Autoevaluación 9

| Pregunta | Respuesta | Retroalimentación   |
|----------|-----------|---|
| 1        | a         | Correcto, todos los seres vivos se caracterizan porque tienen movimiento, capacidad de respuesta, crecimiento, alimentación, reproducción, liberación de energía y excreción.   |
| 2        | a         | El esquema más utilizado dividió a los seres vivos en cinco reinos, según lo establecido por Whittaker: monera, protista, fungi, plantae y animalia.  |
| 3        | a         | Correcto, y se caracterizan por ser unicelular, filamentosa, colonial o micelial, anaerobia, aerobia, anaerobia-facultativa, microaerófila o aerotolerante con reproducción asexual.  |
| 4        | a         | Los organismos fotótrofos capturan la energía radiante de la luz solar y la transforman en energía química que se almacena en los enlaces de los carbohidratos y de otras moléculas. Las plantas verdes, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas verdes y púrpuras son ejemplos de fotótrofos. |
| 5        | b         | Los quimiorganótrofos obtienen su energía de la oxidación de compuestos orgánicos (carbohidratos, ácidos orgánicos o proteínas).  |
| 6        | b         | Los autotrófos sintetizan sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono. Son importantes en la naturaleza porque fija dióxido de carbono y es un precursor de los sustratos orgánicos (base de la cadena alimenticia).   |
| 7        | a         | La estructura biótica incluye tres categorías (productores, consumidores y detritívoros y desintegradores) de las relaciones organismo-alimento que interactúan.  |
| 8        | b         | Los consumidores primarios forman parte del segundo nivel trófico.  |
| 9        | c         | Los ecosistemas cambian sus condiciones, pero cuando alcanzan un equilibrio dinámico (constante en tamaño y distribución geográfica) pueden mantenerse en el tiempo.  |
| 10       | f         | Las células acariontes no tienen organización celular y no pertenecen a ningún reino. Un ejemplo son los virus.   |

Ir a la  
autoevaluación

| Autoevaluación 10 |           |   |
|-------------------|-----------|---|
| Pregunta          | Respuesta | Retroalimentación   |
| 1                 | d         | Las rocas pueden clasificarse por su origen como ígneas, metamórficas, o sedimentarias.   |
| 2                 | g         | Los fenómenos físicos provocan el intemperizado como resultado de los gradientes de temperatura, la abrasión, la erosión, las fuerzas mecánicas y otras condiciones similares.  |
| 3                 | f         | Las SH se subdividen en ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), y huminas o kerógeno (HU).   |
| 4                 | g         | Podemos clasificar estructuralmente los silicatos según la polimerización de SiO <sub>4</sub> y en la proporción entre átomos de Si y O (Si:O): 1:4 = nesosilicatos (ortosilicatos), 2:7 = sorosilicatos, 1:3 = ciclosilicatos, 1:3 y 4:11 = inosilicatos, 2:5 filosilicatos, y 1:2 tectosilicatos (cuarzo y feldespato).   |
| 5                 | c         | La formación de la mena se debe a la presión y temperatura.   |
| 6                 | b         | La erosión y abrasión son fenómenos del intemperizado físico.   |
| 7                 | b         | Los procesos biológicos (respiración y la fotosíntesis) colaboran en los fenómenos de intemperizado que contribuyen a la emisión de CO <sub>2</sub> modificando el pH y las condiciones alcalinas en el agua que les rodea.   |
| 8                 | a         | La grava es la proporción del suelo cuyas partículas son de tamaño superior a 2 mm de diámetro. Contiene mayoritariamente ortosilicatos (minerales primarios), muy estables y poco reactivos.   |
| 9                 | c         | La textura viene determinada por la porosidad, la permeabilidad y la estructura. La porosidad es una medida de la relación entre el volumen de los poros y el volumen total del suelo. La permeabilidad mide la velocidad a la que circula un fluido a través de un medio. La estructura de un suelo está determinada por la intensidad de la unión entre partículas. |
| 10                | c         | El horizonte C es una zona de transición entre la roca original y los horizontes. Está constituido por material fragmentado, pero no meteorizado químicamente.  |

[Ir a la autoevaluación](#)

| Autoevaluación 11 |           |   |
|-------------------|-----------|---|
| Pregunta          | Respuesta | Retroalimentación   |
| 1                 | c         | Los coloides del suelo componen la fracción arcillosa y el material húmico coloidal.  |
| 2                 | a         | Las partículas coloidales llevan adheridos contaminantes orgánicos y metales pesados, movilizando contaminantes a través de los poros del suelo con el movimiento de las partículas coloidales en la disolución del suelo hasta alcanzar el acuífero subterráneo, o bien siendo transportada por las partículas incorporadas en el flujo de un río. |
| 3                 | a         | Las micelas son un caso de liófilas que se forman por la asociación de moléculas con estructura anfifílica (una parte liófoba y otra liófila).  |
| 4                 | a         | Las liófilas forman suspensiones coloidales espontáneamente por solvatación (ácidos húmicos, fúlvicos y proteínas).   |
| 5                 | a         | En las plantas depuradoras de agua se sedimentan las partículas sólidas mediante la adición de una sal con catión polivalente, como $\text{Al}^{3+}$ o $\text{Fe}^{3+}$ .   |
| 6                 | a         | La relación entre las concentraciones de sorbato y sorbente a una determinada temperatura, se denomina isoterma de sorción.   |
| 7                 | b         | Las fuerzas de interacción entre adsorbato y adsorbente son fuertes; se establecen enlaces químicos, lo cual requiere la pérdida de las moléculas de solvatación.   |
| 8                 | c         | La adsorción química es específica, pero su isoterma puede ajustarse a modelos de tipo general, como el modelo de la isoterma de Langmuir. Este modelo es aplicable a la interfase sólido - líquido como a la sólido - gas.   |
| 9                 | b         | La isoterma de Freundlich es adecuada en el caso de la adsorción de compuestos orgánicos (pesticidas), en la fase sólida mineral del suelo. Mientras que las isotermas de Langmuir explican la mayoría de los procesos de adsorción de interés ambiental, suele ajustar bien los datos de adsorción de iones metálicos en superficies minerales.    |
| 10                | b         | Normalmente, la fracción de materia orgánica del suelo se suele expresar en términos de carbono orgánico.   |

[Ir a la autoevaluación](#)

| Autoevaluación 12 |           |   |
|-------------------|-----------|---|
| Pregunta          | Respuesta | Retroalimentación   |
| 1                 | b         | En los medios terrestres el pH varía entre 5 y 8, debido a especies químicas que amortiguan el pH que dificultan la presencia de valores de pH fuera del intervalo.   |
| 2                 | b         | El pH no se mantiene constante, sino que presenta ligeras variaciones con la profundidad, debido a que la fotosíntesis en las aguas superficiales da lugar al consumo de $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ , y la materia orgánica generada consume el oxígeno y aumenta el carbono inorgánico disuelto. Además, el aumento de la presión y la disminución de la temperatura con la profundidad aumentan la solubilidad del carbonato cálcico (alcalinidad). |
| 3                 | b         | Los climas con gran pluviosidad disminuyen la concentración de los cationes en la disolución del suelo y favorecen su percolación hacia el acuífero subterráneo, lo que origina acidificación.  |
| 4                 | a         | La acidez intercambiable resulta del desplazamiento con una disolución de sal neutra no tamponada. En un suelo típico, las especies que contribuyen a la acidez intercambiable son aquellas especies ácidas que ocupan posiciones de intercambio en la fase sólida del suelo, y que por tanto pueden ser desplazadas cuando se valoran con una disolución de catión a concentración suficientemente alta.   |
| 5                 | g         | El diagnóstico del suelo incluye el estudio de los sólidos disueltos totales (SDT), la conductividad eléctrica (CE) y la proporción de iones sodio presente en un suelo, se utiliza el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) que corresponde al porcentaje de sitios de intercambio ocupados por iones $\text{Na}^+$ y la relación de adsorción de sodio (RAS).  |
| 6                 | a         | Los sólidos disueltos totales y la conductividad tienen una vinculación directa y existe una fórmula para hallar uno a partir del otro.   |
| 7                 | f         | Los suelos afectados por salinidad se clasifican en suelos salinos, suelos sódicos y suelos sódicosalinos.  |
| 8                 | a         | En climas áridos, la elevada concentración iónica provoca la formación de depósitos salinos en la superficie (álcali blanco).   |
| 9                 | b         | La materia orgánica suele ser fuente de compuestos reductores y actúa como donador de electrones en los medios naturales.   |
| 10                | c         | Los suelos sódicosalinos tienen un pH inferior a 8.5.   |

Ir a la  
autoevaluación

### Autoevaluación 13

| Pregunta | Respuesta | Retroalimentación   |
|----------|-----------|---|
| 1        | c         | La erupción volcánica es una fuente natural de contaminación, mientras que los procesos industriales y la agricultura son fuentes de contaminación antrópicas o antropogénicas.   |
| 2        | a         | Se consideran contaminantes convencionales a la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales suspendidos, aceites y grasas y pH.  |
| 3        | b         | Los contaminantes no convencionales son: amoniaco, cromo (VI), demanda química de oxígeno, COD/DBO <sub>5</sub> , fluoruros, manganeso, nitrato, nitrógeno orgánico, pesticidas, fenoles, fósforo y carbono orgánico total. |
| 4        | a         | Correcto  |
| 5        | b         | Si la proporción de hidrocarburos con el oxígeno no es adecuada, se produce una combustión incompleta (liberando CO y agua) donde se emiten compuestos parcialmente oxidados del carbón con hidrocarburos sin reaccionar.   |
| 6        | a         | El efecto invernadero se da de forma natural y antropogénicamente.  |
| 7        | a         | Correcto  |
| 8        | b         | El agotamiento del ozono es conocido como el agujero en la capa de ozono.   |
| 9        | a         | Correcto  |
| 10       | b         | La principal fuente natural de radioactividad es el Rn.   |

Ir a la  
autoevaluación

| Autoevaluación 14 |           |  |
|-------------------|-----------|--|
| Pregunta          | Respuesta | Retroalimentación  |
| 1                 | c         | Los metales que se emiten en mayor cantidad son Mn y Zn, con flujos de emisión estimados de alrededor de $200 - 260 \times 10^9 \text{ kg/año}$ .  |
| 2                 | a         | Con relación a la estabilidad de las especies metálicas catiónicas en el medio acuoso y a la posibilidad de formación de complejos, es útil clasificar a los metales en metales de tipo A, de tipo B y metales de transición.  |
| 3                 | a         | Los metales de tipo A presentan una configuración electrónica de gas inerte ( $d^0$ ), perteneciendo a este grupo cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos, así como el catión $\text{Al}^{3+}$ .   |
| 4                 | a         | En medios neutros-ácidos, el catión metálico se encuentra libre en disolución.   |
| 5                 | b         | A pH neutral en medio acuoso, la movilidad de los metales suele ser mínima.  |
| 6                 | b         | En climas áridos, el movimiento es ascendente por lo que los metales se acumulan en la superficie.   |
| 7                 | a         | En los medios edáfico e hidrosférico, los compuestos metilados presentan toxicidad, cuya intensidad depende del grado de metilación, y, la máxima toxicidad se da cuando los compuestos han perdido un metilo puesto que combinan una elevada hidrofobicidad con cierta solubilidad en el agua, por lo que son asimilables por organismos vivos. |
| 8                 | a         | La metilación se produce cuando se enlazan grupos metilo al elemento metálico, lo cual, produce cambios en sus propiedades fisicoquímicas (solubilidad, volatilidad y propiedades químicas).   |
| 9                 | b         | En las aplicaciones indirectas, el compuesto orgánico está presente como un componente más en la formulación del producto y una vez usado se libera como por ejemplo los detergentes.  |
| 10                | b         | La presión de vapor define la capacidad de una substancia para volatilizarse y se conoce como una magnitud termodinámica que corresponde a la presión que ejerce un gas en equilibrio con su fase pura condensada más estable a la temperatura indicada.   |

[Ir a la autoevaluación](#)



---

## 5. Referencias Bibliográficas

---

Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente. (2018). Programa de educación en cambio climático. Primera edición. México. Disponible en: <https://centromariomolina.org/libro/libros/Librodesecundaria40/4/#zoom=z>

Dickson, T. (1998). Química Enfoque ecológico. LIMUSA S.A Noriega Editores. Duodécima edición. ISBN 968-18-0886-X

Fersman, A. (1945). Geoquímica recreativa. Disponible en: <http://www.librosmaravillosos.com/geoquimica/pdf/Geoquimica%20recreativa%20-%20Alexandr%20Fersman.pdf>

Ibáñez, J. Hernández, M., Mohan, M., Doria, M., Fregoso, A. (2013). Química ambiental. McGraw Hill. ISBN 978-1-4562-1149-3. México

Lestussi, M. (2018). Apuntes de geoquímica. Contenidos mínimos. Editorial Científica Universitaria Catamarca. ISBN: 987-978-661-296-8

Santos, A. (sf). Taller meteoritos. Disponible en: [Taller de meteoritos](#)

Sawyer, C., McCarty, P., Parkin, G. (2001). Química para ingeniería ambiental. Cuarta edición McGraw-Hill ISBN: 958-41-0164-1

White, W. (2001). Geochemistry. International Mine Water Association (IMWA)