

# APUNTE DE GEOLOGIA AMBIENTAL

## CONTENIDOS MINIMOS

BREVE RECOPIACION BIBLIOGRAFICA POR  
LIC. MATIAS LESTUSSI

EDITORIAL CIENTÍFICA UNIVERSITARIA  
CATAMARCA, 2018

## INDICE

<b>Medio ambiente</b>	<b>4</b>
Reseña histórica del ambientalismo	4
Definiciones	4
Problemas medioambientales	6
Informe de impacto ambiental	7
<b>Atmósfera</b>	<b>8</b>
Capas	8
Contaminación atmosférica	8
Inmisión	8
Causas de la contaminación	8
Consecuencias de la contaminación	9
Inversión térmica	9
Efecto invernadero	9
Degradación de la capa de ozono	9
Lluvia ácida	9
Agente de transporte	10
Calidad de aire	10
Monitoreo de aire	10
<b>Hidrosfera</b>	<b>12</b>
Parámetros de calidad de agua	12
Contaminación del agua	15
Tipos de contaminantes	16
Fuentes	16
Monitoreo de aguas	17
Eutrofización de aguas	18
Drenaje ácido	18
Tratamiento de efluentes	19
<b>Suelos</b>	<b>21</b>
Contaminación del suelo	21
Vulnerabilidad	22
Poder de amortiguación	22
Grado de contaminación	22
Agentes contaminantes	23
Análisis de suelos	23
Muestreo de sedimentos de corriente	25
<b>Otras problemáticas ambientales</b>	<b>26</b>
Residuos	26
Desertización	27
Incendios	27
Paisaje	28
<b>Áreas protegidas</b>	<b>29</b>
<b>Impacto ambiental</b>	<b>31</b>
Evaluación de impacto ambiental	31
Instrumentos	31
Métodos	32
Estructura	34

Etapas	36
Identificación de acciones	36
Identificación de factores	36
Indicadores de impacto ambiental	37
Valoración del impacto ambiental	37
Importancia	38
Magnitud	39
Determinación de medidas de prevención o mitigación	39
Valoración económica de los impactos ambientales	39
<b>Bibliografía</b>	<b>40</b>

## MEDIO AMBIENTE

Reseña histórica del ambientalismo:

- 1962: “Primavera Silenciosa”, Rachel Carson. Peligrosidad de DDT (insecticidas órgano-clorados prohibidos por EPA en 1972).
- 1968: Creación de club de Roma. Crecimiento económico sostenible.
- 1972: “Limites del crecimiento”, MIT (encargo del Club de Roma). Simulaciones demuestran que dados los ritmos de crecimiento se reducirá la población debido a contaminación, pérdida de tierras cultivables, escasez de recursos, hacia 2100.
- 1972: ONU, Estocolmo. Conferencia sobre medio humano. Manifiesta a nivel mundial preocupación por el problema medioambiental.
- 1987: Informe Brundtland. Formaliza concepto de desarrollo sostenible (satisface necesidades del presente sin comprometer necesidades de futuras generaciones).
- 1992: ONU, Río de Janeiro. Conferencia medio ambiente y desarrollo. Convenio sobre el cambio climático, diversidad biológica y la declaración de principios relativos a los bosques. Cambia concepto de desarrollo sostenible, sosteniéndose en tres pilares: Progreso económico, justicia social y preservación del medio ambiente.
- 1997: ONU, Kioto. Firmado de Protocolo de Kioto. El objetivo es la reducción de emisiones de 6 gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Hidro-fluoro-carbonados o HFC, Perfluorocarbonados o PFC, SF<sub>6</sub>). Los bonos de carbono son el mecanismo internacional de descontaminación propuesto en el protocolo para reducir emisiones causantes del calentamiento global. Derecho a producir CO<sub>2</sub> como bien canjeable de precio establecido: 1 bono = 1 t CO<sub>2</sub>. Las emisiones se miden en CO<sub>2</sub> equivalente (a través del potencial de efecto invernadero relativo a CO<sub>2</sub>) – ver más abajo.
- 2002: ONU, Johannesburgo. Conferencia desarrollo sostenible.
- 2005: Entra en vigor el Protocolo de Kioto.
- 2001-2010: Comunidad Europea, Sexto Programa de Acción Comunitaria en Materia de Medio Ambiente. Alto nivel de calidad de vida y bienestar para los ciudadanos, ambiente en que niveles de contaminación no tengan efectos perjudiciales en salud o medioambiente (desarrollo urbano sostenible).
- 2007: ONU, Bali. Busca redefinir protocolo de Kioto, adecuarlo a nuevas necesidades respecto al cambio climático. Participan ministros de ambiente de todos los países menos EEUU y China.

### **Definiciones:**

Medio ambiente: Conjunto de elementos abióticos (objetos culturales, agua, aire, suelo) y bióticos (animales, plantas, hongos, bacterias, etc.) Valores naturales y socio-culturales existentes en un lugar. Cuando el hombre impacta sobre el medio-ambiente se denomina impacto ambiental. Cuando el medio-ambiente impacta sobre el hombre se denomina riesgo.

Ambiente como sistema: *Un ambiente es un complejo de factores externos que actúan sobre un sistema y determinan su curso y forma de existencia.* Interacciones entre el sistema natural y el sistema socio-cultural. Ej. ambiente natural aporta aire, agua, suelo, biodiversidad, energía, minerales, paisaje, territorio al ambiente socio-cultural; mientras que recibe calor, deforestación, residuos, efluentes, smog, etc. El ambiente comprende factores de orden físico y de orden socio-cultural que impactan tanto en el sistema natural como en el sistema socio-

cultural (impacto socio-cultural sobre el medio natural - impacto natural sobre el medio socio-cultural). Ningún elemento actúa aisladamente. Las interrelaciones entre los elementos permiten el estudio del funcionamiento del sistema. El ambiente es un conjunto complejo de **sistemas** que interactúan entre sí, compuesto a su vez por subsistemas. Los **subsistemas** están compuestos por sus **componentes**, que a su vez pueden ser caracterizados o afectados por ciertos **factores**. El ambiente se compone de dos grandes sistemas: medio físico y medio cultural. El **medio físico** se compone de subsistemas: medios **inerte, biótico, perceptual**:

- Los componentes del medio **inerte** son aire, agua, suelo. Los factores que afectan al aire son el nivel sonoro, la calidad de aire. Los factores que afectan al agua son la calidad de agua (subterránea y superficial), el tipo de cuenca o el tipo de acuífero. Los factores que afectan el suelo son los materiales que lo componen, las geoformas y su uso.
- Los componentes del medio **biótico** son la flora y la fauna. Los factores que afectan a la flora y la fauna se relacionan con la biodiversidad, la posición y la extensión en el espacio.
- El componente del medio **perceptual** es el paisaje. Los factores que afectan el paisaje son la visibilidad, y los componentes singulares del mismo paisaje.

El **medio cultural** se compone de subsistemas: **territorial, socio-cultural, económico**:

- Los componentes del medio **territorial** son los usos del suelo: recreativo, productivo, conservación, infraestructura. Los factores relativos al componente recreativo son el uso recreativo. Los factores relativos al componente productivo son el tipo y la cantidad de producción. Los factores relativos al componente de conservación son los ecosistemas especiales, las zonas húmedas, etc. Los factores relativos al componente de infraestructura son las vías de comunicación, pecuarias, etc.
- Los componentes del medio **socio-cultural** son el humano, la cultura, el patrimonio, etc. Los factores que afectan al componente cultural son el educativo, el estilo de vida. Los factores que afectan al componente recreativo son el uso recreativo. Los factores relativos al componente humano son calidad de vida, aceptabilidad social, servicios. Los factores relativos al patrimonio son arqueológicos, históricos, arquitectónicos.
- Los componentes del medio **económico** son la población, la economía. Los factores relativos al componente poblacional son la demografía y el hábitat. Los factores relativos al componente económico son valor del suelo, economía local, regional o global, etc.

**Desarrollo sustentable/sostenible**: Actividades de generación presente no deben destruir o disminuir valor de componentes necesarios para desarrollo a corto y largo plazo. No niega crecimiento económico, lo pone en equilibrio con las demandas ecológicas futuras y las necesidades de la población actuales. Condiciones:

- No deben utilizarse recursos renovables a ritmo superior al de su generación.
- No deben producirse contaminantes a un ritmo mayor al que puedan ser reciclados, neutralizados o absorbidos por el medio ambiente.
- No se deben utilizar recursos no-renovables a mayor velocidad en relación al tiempo necesario para sustituirlos por recursos renovables usados de forma sostenible.

(\*) Principio organizador del desarrollo humano que mantiene la habilidad de los sistemas naturales para proveer recursos naturales y servicios de los cuales dependen la economía y la sociedad. Está basado en desarrollo económico, desarrollo social y protección ambiental.

**Biodiversidad:** Cantidad, variedad y variabilidad de organismos vivos y de complejos ecológicos que ellos integran. La variabilidad es la capacidad de cambiar características genéticas para adaptarse a los cambios en el medio.

- Valor directo: Desde la perspectiva que constituyen bienes con los que se puede comerciar (ej. comida, combustible, refugio, medicamentos). Uso consuntivo: a escala local. Uso productivo: a gran escala, gestionado por grandes organizaciones.
- Valor indirecto: Sostienen actividades humanas, mediante regulación del clima, reciclado del aire, fertilización del suelo, etc.

**Transversalidad:** Diversidad de enfoques con que puede ser tratado un mismo tema. Los temas medioambientales tienen la característica de la transversalidad y deben ser abordados desde distintas disciplinas o materias.

**Recursos naturales:** Bienes de la naturaleza que el hombre valora y utiliza para satisfacer sus necesidades. Pueden ser renovables (se renuevan constantemente, ej. flora, fauna, agua, aire) o no-renovables (aquellos cuyo uso produce extinción, ej. hidrocarburos, minerales).

**Problemas medio-ambientales:** Degradación de condiciones ambientales, consecuencia de fenómenos naturales o actividades humanas.

- Deforestación: Por demandas para industria, construcción, producción energética, agrícolas (tierras de cultivo), incendios forestales, etc.
- Degradación de suelos: Por malas prácticas de cultivos, sobrepastoreo, deforestación. La desertificación es el principal impacto.
- Problema de aire: Aire se carga de sustancias extrañas o cambia proporción de sus componentes, a raíz de emisiones de hornos y chimeneas de talleres y fábricas, calefacciones, vehículos, etc.
- Problema del agua: Relacionada a la escasez de agua dulce, su distribución en los continentes y el mal uso y su contaminación por efluentes con bacterias patógenas y virus, efluentes industriales sin tratamiento, escurrimiento superficial con agroquímicos, etc. El agua de mar se ve afectada por el turismo, la pesca, descarga de residuos y efluentes.
- Problema de los residuos: Prominente a partir de la década de 1950 en que la composición de los residuos cambia (plásticos y otros materiales descartables de embalaje, detergentes, etc.)

(\*) Problemática de los alimentos: Malthus (1978) – Crecimiento demográfico excede capacidad de sustento de la tierra. Población aumenta de forma exponencial, subsistencia progresa de manera aritmética. No considera posibles desarrollos tecnológicos (S. XX) que posibiliten producir mayores cantidades de alimentos. Tierras continentales globales: 12800 GHa. Aptas para cultivo 3300 GHa. El resto desiertos, selvas, zonas de pastoreo.

(\*) Papel de ciencias geológicas: Proveer soluciones sobre planificación territorial, eliminación de residuos y desechos, planificación sobre el recurso hídrico (agua potable), identificación e inventario de recursos.

**Informe de impacto ambiental:** Debe ocuparse del marco físico del ambiente. El geólogo debe convertirse en arquitecto del ambiente, pensando tanto en la actualidad como a largo plazo, para condiciones a 50, 100, 500 años.

## ATMOSFERA

### Capas:

- Tropósfera: Hasta 12 km. (6 km. en polos, 16 km. en trópicos).
- Estratósfera: 12 – 50 km. Contiene O<sub>3</sub> (absorbe radiación UV).
- Mesósfera: 50 – 100 km. Mayoría de meteoritos volatilizan.
- Ionósfera: > 100 km. Temperatura hasta 100°C. Partículas ionizadas por radiación solar.
- Exósfera: > 500 km. Composición va igualando la del espacio exterior. Capa He, Capa H<sup>+</sup>, magnetósfera. Hasta 5500 km. aprox.

(\*) En la tropósfera y la estratósfera suceden los fenómenos de circulación, lo que las hace más interesantes ambientalmente. Estas corrientes atmosféricas transportan partículas y gases.

**Composición troposférica:** N<sub>2</sub> (78,03%), O<sub>2</sub> (20,99%), CO<sub>2</sub> (0,03%), Ar (0,99%), Ne (0,00123%), He (0,0004%), Kr (0,00005%), Xe (0,000006%), H<sub>2</sub> (0,01%), CH<sub>4</sub> (0,0002%), NO<sub>2</sub> (0,00005%). H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, partículas, variables. Agua se incorpora por evaporación. Partículas en forma de sales (coloides solidos dispersos en solución) o en suspensión (aerosoles, coloides dispersos en el aire). Contaminantes se incorporan por corrientes ascendentes y son transportados por los vientos.

**Contaminación atmosférica:** Puede darse de dos formas. Una de ellas es a través del aumento o disminución de la concentración de ciertas sustancias, relativo a los niveles normales, en suficiente medida para producir riesgos o daños a personas, ecosistemas o bienes; o bien a través de la introducción de sustancias ajenas a la composición atmosférica. Los contaminantes se emiten a través de fuentes. En la atmósfera se desplazan, transforman, acumulan y degradan. Los contaminantes pueden ser primarios o secundarios, dependiendo si permanecen como fueron emitidos por la fuente o son productos de reacciones en la atmósfera de otros contaminantes primarios (ej. SO<sub>2</sub> primario, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> secundario). Los contaminantes pueden ser gases o partículas sólidas. Las partículas sólidas en suspensión se miden como PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub>. Las partículas sobre PM<sub>10</sub> (10 µm) se quedan en la región extra-torácica, tienden a sedimentar en la atmósfera. Las partículas entre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> pueden ingresar a la región traqueo-bronquial. Las partículas debajo de PM<sub>2,5</sub> pueden ingresar a la región alveolar. Las partículas debajo de PM<sub>0,1</sub> pueden llegar al torrente sanguíneo. Nano-partículas (<0,001 µm) tienen alta penetración en organismos. Los componentes principales en partículas finas (debajo de PM<sub>2,5</sub>) son: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, compuestos orgánicos, elementos traza (metales volatilizados en combustión, etc.) Los componentes principales en partículas gruesas (entre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>) son aluminosilicatos y óxidos de elementos corticales (ej. Fe, Ca, etc.) provenientes de suelos, polvos de rutas, industrias, construcción, cenizas de combustión de hidrocarburos o carbón.

**Inmisión:** Concentración de un contaminante por metro cúbico de aire medida en un punto a una distancia determinada de la fuente. Implica transporte, dispersión o concentración.

**Causas de contaminación:** Actividades humanas (gases y polvo) de fuentes fijas (ej. chimeneas) o móviles (ej. vehículos). Causas naturales (incendios naturales, erupciones volcánicas, esporas y microorganismos) generan cenizas, gases, etc.

### Consecuencias de la contaminación:

- Inversión térmica: Normalmente la atmósfera sobre la superficie esta estratificada por diferencias de temperatura y densidad. En las capas más bajas las temperaturas son mayores (por radiación de energía absorbida por la superficie) y las densidades también lo son, pero el aire en contacto con la superficie se calienta y su densidad disminuye, por lo cual se ve forzado en dirección ascendente hacia capas más altas, donde es desplazado por corrientes laterales, produciéndose renovación del mismo. En ciertas circunstancias (enfriamiento nocturno, paso de frente frío, corrientes de aire frío provenientes del mar, anticiclones que generen aumento de temperatura en capas inferiores por compresión de las masas de aire), el aire no puede ascender debido a una masa intermedia de aire caliente. Esto puede llevar a que la contaminación en la atmósfera baja se quede estancada y no circule. El fenómeno se acentúa en días fríos y en zonas de valles, donde la circulación de los vientos es pobre. Normalmente, la circulación se restablece al calentarse la superficie nuevamente.
- Efecto invernadero: La radiación incidente sobre la atmósfera es en parte reflejada, en parte absorbida y en parte transmitida hacia la superficie. La radiación incidente sobre la superficie es en parte reflejada y en parte absorbida. Parte de la energía absorbida es reemitida, pero no puede ser transmitida por la atmósfera debido a los gases de efecto invernadero, por lo cual vuelve a la superficie. Los principales gases de efecto invernadero son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ , CFC. El  $\text{CO}_2$  se emite en combustión de hidrocarburos y se consume en fotosíntesis. El ganado es el principal emisor de  $\text{CH}_4$ . El  $\text{NO}_2$  se forma principalmente por alteración de fertilizantes nitrogenados, pero también como subproducto en la combustión. El  $\text{O}_3$  proviene de la acción fotoquímica de la luz solar sobre otros compuestos. Los CFC (cloro-fluoro-carbonados) provienen principalmente de los acondicionadores de aire, pero también se emplearon en la industria de las espumas aislantes y como solventes en otras industrias, como la electrónica. La capacidad de  $\text{CH}_4$  para retener calor es 30 veces mayor respecto a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  150 veces,  $\text{O}_3$  1500 veces, CFC 20000 veces.
- Capa de ozono: De toda la radiación solar que llega a las capas bajas de la atmósfera, la radiación UV es la más destructiva a nivel molecular; el resto de la radiación no tiene la capacidad de destruir moléculas. El  $\text{O}_3$  en la atmósfera detiene la radiación UV descomponiéndose en  $\text{O}_2$  y  $\text{O}^{2-}$ . El  $\text{O}^{2-}$  también puede formarse por descomposición de  $\text{O}_2$  por radiación UV. El  $\text{O}^{2-}$  producido de cualquiera de estas dos formas puede unirse nuevamente a  $\text{O}_2$  molecular formando nuevas moléculas de  $\text{O}_3$ . Los CFC intervienen en la destrucción del  $\text{O}_3$ . Al llegar a la estratosfera, se descomponen fotoquímicamente debido a la radiación UV y los  $\text{Cl}^-$  generados reaccionan con el ozono. Compuestos bromurados tienen el mismo poder destructivo.
- Lluvia ácida:  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  reaccionan con la humedad atmosférica dando como productos  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . El  $\text{SO}_2$  reacciona con  $\text{O}_2$  dando como producto  $\text{SO}_3$ , que reaccionará con  $\text{H}_2\text{O}$  para formar  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . El  $\text{NO}_2$  reacciona con  $\text{O}_2$  para dar  $\text{NO}_3$  que luego reacciona con  $\text{H}_2\text{O}$  para formar  $\text{HNO}_3$  y  $\text{O}^{2-}$ . Esto disminuye el pH de las precipitaciones a menos de 5,6. Gran parte del  $\text{SO}_2$  se produce por erupciones volcánicas. Fuentes antropogénicas importantes son la industria metalúrgica y la combustión de hidrocarburos. Formas reducidas (ej.  $\text{SH}_2$ ) pueden oxidarse a  $\text{SO}_2$  en la atmósfera. La combustión de hidrocarburos también produce  $\text{NO}$  que es rápidamente oxidado a  $\text{NO}_2$  en la atmósfera y luego puede disolverse y producir  $\text{HNO}_3$ . Para reducir la producción de  $\text{NO}$  se utilizan catalizadores que disocian el óxido antes de ser emitido a la atmósfera. Los vehículos diésel no pueden llevar dichos catalizadores, por lo cual son los únicos que producen el gas. Los efectos de la lluvia ácida

son la acidificación de aguas superficiales (desfavorable para vida acuática y en el sentido del consumo), daños forestales y en el ámbito de los microorganismos fijadores de nitrógeno. Otro daño es al patrimonio cultural y arquitectónico, cuando se trata de materiales carbonáticos (ej. mármol o calizas).

(\*) Los convertidores catalíticos de los automóviles reducen los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular y oxidan el CO a CO<sub>2</sub>. Utilizan platino, rodio y paladio. La catálisis sucede a alta temperatura (500°C aprox.)

**Agente de transporte:** Fenómenos atmosféricos cumplen un papel importante en la dispersión de los agentes contaminantes. Transporte, concentración y dispersión de los agentes contaminantes dependen de factores meteorológicos como velocidad y dirección del viento, estabilidad atmosférica, altura, temperatura y presión del aire, etc.

**Calidad de aire:** La OMS estableció niveles guía de calidad de aire mundialmente. A nivel nacional, Ley 24.585 establece niveles guía de material particulado, monóxido de carbono, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Pb, O<sub>3</sub>, SH<sub>2</sub> en la atmósfera. Ley 20.284 establece normas de calidad de aire y niveles máximos de emisión para fuentes emisoras, junto a las sanciones por incumplimiento. La ley 19.587 en la resolución N°295/03 trata los contaminantes del aire como contaminantes químicos en el ambiente de trabajo, establece concentraciones máximas permisibles de cada uno de los contaminantes. Para evaluar la calidad de aire se debe analizar la fuente del contaminante, el agente de transporte, la naturaleza de los contaminantes emitidos (composición mineralógica, cantidad de partículas por volumen de aire, composición química de los gases). En base a este análisis se diseñará el sistema de muestreo y monitoreo. Las partículas sólidas en suspensión se evalúan a través del método 0600, en los cuales se succiona aire mediante una bomba interponiendo filtros normalizados que se cambian cada cierto tiempo y luego la muestra total es pesada y las cantidades se calculan por volumen de aire bombeado a lo largo de la prueba. Para PM<sub>10</sub> el promedio anual es de 50 µg/m<sup>3</sup> y el límite diario de 150 µg/m<sup>3</sup>. Metales pesados y semimetales como As, Ba, Cd, Cr<sup>6+</sup> son cancerígenos cuando ingresan por vía respiratoria.

**Monitoreo de aire:** En primera instancia se analiza la cantidad y composición de partículas en el aire a fines de establecer programas de mitigación y monitoreo. Deben determinarse fuentes de contaminantes, agentes de transporte, composición y concentración de gases y partículas, peligros para la ecología. El programa de monitoreo se hace en dos fases:

- Primera:
  - Inventario de emisiones: Diagrama de producción del sitio con fuentes ubicadas, descripción de fuentes (fijas y móviles), volumen de emisión, frecuencia y duración de emisiones, temperatura de emisión.
  - Datos de referencia: Estación en poblado más cercano en dirección del viento. Estación rural en dirección opuesta al viento, lo suficientemente alejada para establecer calidad ambiental.
  - Número de estaciones: En función de material tratado (t/día). >5000 t/día 6 o más estaciones. 350 a 5000 t/día 4 a 5 estaciones. < 25 t/día 1 estación.

- Segunda: Mapa con estaciones de monitoreo, mediciones que se realizaran, aparatos de medición, frecuencia de muestreo, etc. Monitoreo permanente.

## HIDRÓSFERA

Tres cuartas partes de la superficie terrestre están ocupadas por agua. 98% es agua salada en mares y océanos. El agua dulce es un 69% glaciario, 30% subterránea y el 1% restante ríos, lagos, etc. Los usos son urbano (bebida y domésticos), industriales, agrícolas. La calidad se debe evaluar para adecuar el agua a los distintos usos. Constituyentes mayoritarios del agua:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ . Estos son incorporados al agua a través de la disolución de minerales. Los constituyentes trazas se incorporan por interacción del agua con el ambiente, al igual que los mayoritarios, pero se encuentran en menor concentración (ej. metales,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ). La disolución de los minerales más comunes además de aportar constituyentes mayoritarios estabiliza el pH, regulando solubilización de metales pesados. El pH del agua dulce está en el rango 6,5 a 8,5. El pH del agua de mar es más alcalino.

### **Parámetros de calidad de agua:**

#### - Físicos-químicos:

- Temperatura: La temperatura condiciona la solubilidad de  $\text{O}_2$  en agua (mayor temperatura menos concentración de  $\text{O}_2$ ) y las tasas de crecimiento y reproducción de ciertas especies cerca del límite de su propia tolerancia térmica. Contaminación térmica proviene principalmente de centrales termoeléctricas.
- Turbidez: Pérdida de transparencia del agua a raíz de sustancias coloidales en suspensión. Estos se extraen por coagulación, decantación, filtración. Las partículas en suspensión se deben a sedimentos, plancton o ciertos efluentes. Valores altos de turbidez suelen estar asociados a la aparición de bacterias y virus. Aguas residuales urbanas tienen valores altos de turbidez por sustancias orgánicas en suspensión. La turbidez se mide por nefelometría que consiste en medir la luz dispersada por la solución a  $90^\circ$  y en una longitud de onda determinada.
- Conductividad: Indica la materia disuelta en el agua. Cuanto más conductiva, mayor concentración de solutos. Se mide en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En agua natural no contaminada se cumple que el valor de residuo seco en  $\text{mg}/\text{L}$  oscila entre 0,5 y 1 veces el valor de la conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Color: El agua es naturalmente incolora. El color es síntoma de contaminación. El color aparente es producto de suspensiones. El color verdadero es el color causado por materia en solución o coloidal. Se mide en unidades de color. Materia orgánica producto de descomposición de vegetales, productos y metabolitos orgánicos da coloración amarillenta. Sales solubles de Fe y Mn en aguas superficiales poco oxigenadas o subterráneas también producen coloración (roja en el caso de Fe, negra en el e Mn). Para medir las coloraciones naturales se utiliza la escala de Hazen. Esta va de coloraciones amarillentas hasta marrones. Para aguas residuales industriales coloreadas por sustancias inorgánicas se deben utilizar otros métodos. Compuestos orgánicos tienen la característica de adsorber plaguicidas y formar quelatos con metales.

- Olor: El agua es naturalmente inodora. Presencia de olores es síntoma de contaminación. El  $\text{SH}_2$  produce olor a podrido, común en aguas poco oxigenadas.
- Sabor: El agua es naturalmente insípida. La mayoría de las sales y minerales dan sabor salado. El sabor generado por el cloro del hipoclorito de sodio en las aguas potabilizadas también es característico.
- pH: El pH es una medida de la acidez del medio, definida como el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones. A menor pH mayor concentración de hidrogeniones en solución. Valores muy bajos son indeseables, contribuyen a disolución de metales. Valores muy altos son indeseables por salinización.
- Alcalinidad: Capacidad de neutralización de bases determinada por concentración de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ . Otras especies que contribuyen a la capacidad de neutralización en menor medida son  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{BO}_2^-$ , etc. Se determina por titulación con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,04N utilizando como indicadores fenolftaleína y naranja de metilo. Los valores que se obtienen son las concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{OH}^-$ .
- Dureza: Aguas duras forman incrustaciones. Aguas blandas inadecuadas para consumo. Se mide en mg/l o ppm de  $\text{CaCO}_3$ . Menos de 50 ppm  $\text{CaCO}_3$  se consideran blandas. Más de 200 ppm  $\text{CaCO}_3$  se consideran duras. Se determina por complexometría EDTA.
- Sólidos totales: Sólidos en suspensión más sólidos disueltos.
- Sólidos en suspensión: Sólidos suspendidos, no en solución. Se determina por filtrado, secado y pesado.
- Sólidos disueltos: Medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. Se determina por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada para remover material en suspensión. Valor máximo en agua potable 1500 mg/l (código alimentario).
- Residuo seco: Peso de los materiales después de evaporar un litro de agua. Se debe especificar la temperatura (ej. 105°C, 180°C, etc.) Valor máximo en aguas minerales 2000 mg/l (código alimentario).
- Especies iónicas:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  son los constituyentes mayoritarios.  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$  si no lo son deberían ser minoritarios. Metales y semimetales como  $\text{As}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ba}$  o  $\text{Se}$  deberían ser trazas.
  - $\text{Cl}^-$ : Agua dulce 10-25 ppm. Agua de mar 20000 ppm.  $\text{Cl}^-$  son corrosivos. Valor máximo CAA: 350 mg/l.
  - $\text{SO}_4^{2-}$ : Agua dulce 2-150 ppm. Agua de mar 3000 ppm. Algunos centenares de ppm bajan resistencia del hormigón. Valor máximo CAA: 400 mg/l
  - $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ : Agua dulce: 50-350 ppm. A  $\text{pH} < 8,3$  no hay  $\text{HCO}_3^-$ . A  $\text{pH}$  más alcalino aparece  $\text{CO}_3^{2-}$ . Contribuyen a alcalinidad del agua.
  - $\text{SiO}_4^{4-}$ : Agua dulce 1-40 ppm.
  - $\text{NO}_3^-$ : Agua dulce  $< 10$  ppm. Agua de mar h/1 ppm. Medio reductor pasa a  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$  ( $\text{NO}_2^-$  causa cianosis infantil).  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  (formas oxidadas) producen eutrofización. Valores máximos CAA:  $\text{NO}_3^-$  45 mg/l,  $\text{NO}_2^-$  0,1 mg/l.

- $\text{NH}_3$ : Indicador de contaminación. Tóxico para peces. Al clorar agua forma cloroaminas muy tóxicas.
- $\text{PO}_4^{3-}$ : Agua dulce < 1 ppm. Principal productor de eutrofización. Presente en fertilizantes.
- $\text{F}^-$ : Agua dulce < 1 ppm. Si sobrepasa ese valor puede producir fluorosis.
- $\text{SH}_2$ ,  $\text{S}^{2-}$ : Aguas dulces hasta 1 ppm. Dan mal olor al agua. Característicos de medios reductores. Corrosivos para aleaciones de cobre.
- $\text{Ca}^{2+}$ : Agua dulce 10-250 ppm. Agua de mar 400 ppm aprox. Contribuye a dureza del agua y a la formación de incrustaciones de  $\text{CaCO}_3$ .
- $\text{Mg}^{2+}$ : Normalmente 1-100 ppm. Agua de mar 1300 ppm. Contribuye a dureza del agua y formación de incrustaciones de  $\text{Mg(OH)}_2$ .
- $\text{Na}^+$ : Agua dulce 1-150 ppm. Agua de mar 10.000 ppm.
- $\text{K}^+$ : Agua dulce 1-10 ppm. Agua de mar 400 ppm.
- $\text{Fe}$ : Puede encontrarse como  $\text{Fe}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ , según las características del medio (oxidante, reductor) y el pH. En medio oxidante tiende a precipitar  $\text{Fe(OH)}_3$  reduciendo el hierro total del agua. En medio ácido el agua puede solubilizar hasta decenas de ppm en  $\text{Fe}$ . Valor máximo CAA: 0,3 mg/l.
- $\text{Mn}$ : Requiere medio ácido para mayores concentraciones.  $\text{MnO}_2$  es insoluble, forma un precipitado negro. Valor máximo CAA: 0,1 mg/l.
- $\text{O}_2$ : Vital para formas de vida. Interviene en solubilidad y precipitación de compuestos. Se mide con sondas específicas.
- $\text{CO}_2$ : Subterráneas hasta 1500 ppm. Superficiales 1-30 ppm. Exceso produce corrosión.
- Fenoles: Producen olores y gustos desagradables, especialmente después de cloración.
- Detergentes: Forman espumas que intervienen en la oxigenación del agua (son tensoactivas) y en la floculación del material en suspensión.
- $\text{CN}^-$ : Genera trastornos en tiroides y en el sistema nervioso. Valor máximo CAA: 0,1 mg/l.
- Metales tóxicos: As, Cd, Pb, Cr, Ba, Se son cancerígenos, se acumulan en tejidos grasos. Arsénico genera cáncer de piel, vejiga, pulmones. Valor máximo CAA: 0,05 mg/l. Cadmio se acumula en riñones. Valor máximo CAA: 0,005 mg/l. Cromo (6+) está clasificado como posiblemente cancerígeno por la OMS. Valor máximo CAA: 0,05 mg/l. Plomo interfiere en metabolismo de vitamina D y Calcio, además de generar trastornos en sistema nervioso central y periférico. Valor máximo CAA: 0,5 mg/l. Selenio genera trastornos hepáticos y en el crecimiento. Valor máximo OMS: 0,01 mg/l. Bario genera hipertensión. Valor máximo OMS: 0,7 mg/l.

(\*) Metales pesados son bioacumulables y cancerígenos.  $\text{NO}_2^-$  indican contaminación bacteriológica. Na,  $\text{Cl}^-$  salinidad.  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  agrícolas.  $\text{PO}_4^{3-}$  detergentes.  $\text{S}^{2-}$  aguas negras. Ca, Mg dureza.

- Biológicos:

- DBO: Demanda biológica de oxígeno. Mide la cantidad de  $\text{O}_2$  en mg/l requerida para degradar la materia orgánica de una muestra por acción bioquímica aeróbica de microorganismos en condiciones determinadas (ej. DBO5: 5 días, 20°C). El  $\text{O}_2$  disuelto se mide antes y después del ensayo en el cual una porción de muestra permanece sellada herméticamente. En aguas subterráneas DBO < 1 ppm.
- DQO: Demanda química de oxígeno. Es la cantidad de un oxidante (ej.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) que reacciona con la muestra en condiciones controladas. Luego de la reacción se titula el exceso y es expresada teniendo en cuenta su equivalencia de oxígeno (ej. 1 mol de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  equivale a 1,5 mol de  $\text{O}_2$ ). Aplicable en aguas superficiales o subterráneas, aguas negras y pluviales. No es aplicable en aguas potables. Aunque se pretende medir materia orgánica disuelta, otras sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas pueden causar interferencias. En aguas naturales DQO = 1 a 5 ppm.
- COT: Carbono orgánico total, indicador de la materia orgánica presente en el agua, de mayor precisión respecto a DQO. Se mide por cantidad de  $\text{CO}_2$  generada al oxidar materia orgánica en condiciones especiales. Carbono orgánico pasa a  $\text{CO}_2$  por oxidación catalítica a 950°C, luego se transporta en forma de gas y se mide por analizador infrarrojo no dispersivo. Es la diferencia entre el carbono total en la muestra y el carbono inorgánico total derivado de fuentes no ligadas a seres vivos. En aguas superficiales naturales COT < 10 mg/l.
- Bacteriológicos: E. Coli y otros coliformes, estreptococos y clostridios son los indicadores más comunes de contaminación bacteriológica. Se expresan en NMP/100 ml de agua. NMP/100 ml < 1 en aguas potables. El nivel guía OMS es 0 coliformes en 100 ml.

**Contaminación del agua:** Hay contaminación cuando las sustancias sobrepasan un límite de concentración permitido, modificando la naturaleza del agua y limitando todos o algunos de sus usos. Los límites se denominan niveles guía y están definidos por organismos internacionales (ej. OMS, EPA), leyes estatales (ej. Ley 24.585, Código Alimentario) u organismos públicos (ej. Obras Sanitarias). Un contaminante es una sustancia presente en la naturaleza a un nivel mayor a los niveles normales o que normalmente no debería estar presente. Un polutante es una sustancia que tiene un impacto negativo en el ambiente. El medio u organismo afectado por el polutante se denomina receptor. El medio o especie química que retiene e interactúa con el polutante se denomina sumidero. La polución es la introducción de contaminantes en el ambiente natural que causan cambios adversos para el medio. Puede tomar la forma de sustancias químicas, microorganismos o energía. Los polutantes pueden ser naturales o artificiales. La polución puede ser puntual o difusa. La polución difusa resulta de escurrimiento superficial o profundo, precipitación, etc. En fuentes difusas resulta difícil rastrear la contaminación hacia una sola fuente.

Casos de contaminación del agua son por turbidez (sedimentación de la materia en suspensión se genera sobre lugares de desove o de deposición de larvas; a la vez, el material acumulado va colmatando los sitios de deposición, lo cual es desfavorable en canales u otras conducciones de agua), por contaminación térmica en centrales térmicas, procesos de licuación de gases o procesos de regasificación del gas licuado (la regasificación disminuye la temperatura, el resto aumentan la misma), generando disminución del O<sub>2</sub> disuelto (si aumenta temperatura) o disminución en las tasas de crecimiento y reproducción de ciertas especies al borde de su límite de tolerancia térmica; por disolución de metales pesados a raíz del incremento del pH del agua en drenaje ácido, contaminación microbiológica en efluentes urbanos o ganaderos, contaminación por detergentes o fertilizantes en efluentes urbanos o agrícolas que llevarán a eutrofización de los lagos, contaminación por vertido de residuos, por derrames de buques petroleros, etc.

#### **Tipo de contaminantes:**

- Natural: Restos de vegetales, animales, algas y bacterias o sus productos metabólicos o excrementos.
- Antrópico: Determinados por el tipo de actividad del que provienen.
- Físico: Intercambio de energía (radiación electromagnética, calor, sonido) entre fuente y el ambiente.
- Químico:
  - Minerales: Asbestos, sílice, otros minerales.
  - Metales pesados: Pb, Hg, Ag, Cr<sup>6+</sup>, Cd, Zn, Cu. Se acumulan en tejidos grasos y son bio-acumulables en las cadenas tróficas. Tóxicos, cancerígenos.
  - Semi-metales: As, P, Ba, Se, Te. Cancerígenos, trastornos hepáticos, hipertensión.
  - Otras sustancias: Halógenos, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, CN<sup>-</sup>, Fenoles, Detergentes, Hidrocarburos.

(\*) Los contaminantes pueden ser tóxicos (ej. cancerígenos), persistentes (ej. órgano-clorados, no se biodegradan) o bioacumulables (ej. metales pesados, en tejidos grasos, a lo largo de la cadena trófica). La mayoría reúne las tres características.

#### **Fuentes:**

- Desagües urbanos: Detergentes (tensoactivos – disminuyen O<sub>2</sub> disuelto; contienen PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> eutrofizantes), residuos plásticos, contenido bacteriano (infecciosas como E. Coli y coliformes, bacterias también reducen oxígeno disuelto por descomposición de materia orgánica).
- Desagües industriales: Amplio espectro de contaminantes. Metales pesados tóxicos (ej. industria metalúrgica), contaminación bacteriológica (ej. industria de lácteos, azucarera, de la carne), contaminación mixta (ej. curtiembres, lavaderos de lana, papeleras, contaminación química y biológica).
- Extracción de petróleo: Buques petroleros transportan grandes cantidades de petróleo (vertidos hasta 500.000 t). Limita entrada de luz y oxígeno al agua.
- Desagües agropecuarios: Implica aumento de contenido de sales, de nutrientes en general (ej. nitratos, fosfatos), incorporación de insecticidas y herbicidas (ej. DDT, compuesto órgano-clorado bioacumulable en las cadenas tróficas, se incorpora y circula fácilmente en

la atmósfera, nocivo para aves, algas y peces; glifosato clasificado por la OMS como probablemente cancerígeno).

- Desagües térmicamente contaminantes: Centrales termoeléctricas utilizan agua de fuentes naturales como refrigerante. Cuando se vierte nuevamente a la fuente natural está a mayor temperatura respecto a la que tenía cuando fue extraída. Además, ciertos componentes naturales (ej. algas) se destruyen en el tránsito por el sistema de refrigeración. La licuación y la vaporización de los gases también requiere agua de fuentes naturales, que se verá enfriada en el proceso de vaporización y calentada en el proceso de licuación. La temperatura del agua influye en la solubilidad del  $O_2$  (mayor temperatura, menos  $O_2$  disuelto).
- Descargas sólidas: Aumento de turbidez, contaminación por materia orgánica y bacteriológica.

(\*) Residuos domésticos: Materia orgánica,  $PO_4^{3-}$  (detergentes), contaminación bacteriológica (ej. coliformes). Agrícola: Organoclorados, no biodegradables, bioacumulables, cancerígenos, etc. Fertilizantes. Industriales: Compuestos orgánicos (aceites, disolventes, hidrocarburos), metales pesados. Metalurgia: Cd, Cr. Pinturas: Ba, Pb. Pesticidas: As, Hg, Organoclorados. Fertilizantes y detergentes:  $PO_4^{3-}$ ,  $NO_3^-$ . Papeleras: Cl, NaClO,  $H_2O_2$ . Minería: Metales pesados en caso de drenaje ácido. Agentes lixiviantes en caso de lixiviación en pilas (ej. cobre, oro) o in-situ (ej. uranio). Agente lixiviante en el caso de cobre y uranio es ácido sulfúrico; en el caso del oro es cianuro. Papeleras:  $H_2O_2$ ,  $Cl_2O$ , NaClO como blanqueadores.

### Monitoreo de aguas:

- Objetivo: Determinar calidad de agua en estado natural, impactos causados y monitorear de forma permanente las fuentes de emisión.
- Diseño: Se deberá determinar el tipo de datos a relevar, la ubicación de los sitios de muestreo (distancia antes y después de la confluencia de afluentes, entre pozos de monitoreo de agua subterránea, etc.) y la cantidad de sitios (en minería está determinada por el tonelaje de material procesado diariamente).
- Validez: Implica una correcta aplicación de las técnicas de muestreo y formas preservación de las muestras.
  - Parámetros a analizar: Pueden ser conservativos (no cambian en el tiempo) o no-conservativos (cambian en el tiempo, pero pueden ser estabilizados o deben ser medidos in-situ porque no pueden estabilizarse, ej. temperatura, pH, conductividad,  $O_2$ ).
  - Recipiente de la muestra: No debe desprender materia orgánica, elementos alcalinos, boro, sílice, etc. No debe reaccionar con los componentes de la muestra (ej. vidrio con fluoruros). Adsorción de las paredes sobre componentes de la muestra debe ser mínima. El cierre debe ser hermético. El vidrio sódico normal tiende a disolverse, aumentando concentración de sodio y sílice en la muestra. El vidrio borosilicatado tiende a liberar lentamente cantidades apreciables de Mn, Pb, Zn, As. Determinados tipos de vidrio adsorben fosfatos. Los envases plásticos pueden ceder sustancias orgánicas al agua, que interfieren con el análisis en plaguicidas y otros compuestos. Envases de propileno son porosos por lo que se pueden producir pérdidas por evaporación. Muchos

son permeables a los gases y la mayoría al  $\text{CO}_2$ . Para análisis de precisión se emplea polipropileno. Para análisis de rutina de baja precisión se emplea polietileno. Para análisis de trazas se emplea teflón. Para análisis de compuestos orgánicos (ej. PCB, DDT, etc.) envases de vidrio. Para análisis de materiales fotosensible (ej. cianuro) envases de material opaco o vidrio inactínico. Para análisis microbiológico se emplearán materiales de vidrio borosilicatado, polipropileno (resiste temperaturas, puede ser esterilizado en autoclave) o polietileno descartable. Para  $\text{CN}^-$  y  $\text{F}^-$  se emplean recipientes de plástico. Para DBO y DQO es preferible vidrio.

- **Preservación de la muestra:** El tiempo antes del análisis puede cambiar en función de las condiciones de conservación de las muestras y del tipo de determinaciones a realizar.
  - **Análisis microbiológico:** Tiempo de análisis máximo: 6 horas luego de la toma. Las muestras se deben refrigerar y guardarse al abrigo de la luz. Si se sospecha tratamiento con desinfectante (cloro, cloraminas, ozono) se neutraliza añadiendo tiosulfato sódico (0,4 ml al 3% en 500 ml de muestra). En caso de no estar presentes estos compuestos la solución no afectará a la población bacteriana.
  - **Análisis de metales pesados:** pH 2 con  $\text{HNO}_3$ . Mercurio se muestrea por separado, llevando a pH 2 con  $\text{HNO}_3$  y adicionando  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  hasta 0,05%.
  - **Análisis de  $\text{CN}^-$ :** pH 12 con  $\text{NaOH}$ . Tiempo de análisis máximo 14 días.
  - **DBO:** Refrigeración. Almacenar en oscuridad. Tiempo de análisis máximo 24 horas.
  - **DQO:** Refrigeración. pH < 2 con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Almacenar en oscuridad.
  - **$\text{NO}_2^-$ :** Refrigeración. pH < 2. Filtrado #0,45  $\mu\text{m}$ . Tiempo de análisis máximo 24 horas.
  - **$\text{NO}_3^-$ :** Refrigeración. Tiempo de análisis máximo 24 horas.
  - **$\text{NH}_4^+$ :** Refrigeración. Tiempo de análisis máximo 6 horas.
- **Etiquetado:** N° de estación (ej. 001R), parámetros de análisis, tipo de agua, fecha/hora, preservante, persona que muestreó.
- **Cadena de custodia:** Carta de custodia: Original y 2 copias (original en poder del que muestrea, una copia al laboratorio vía mail o correo, otra copia en la conservadora con las muestras). Especificar cantidad de muestras, si son perecederas o no y los análisis requeridos.

**Eutrofización:** Proliferación de algas que limitan la zona fótica, además su descomposición consume gran cantidad de  $\text{O}_2$ , dejando las aguas de ser aptas para seres vivos. Fuentes urbanas (detergentes con fosfatos) y agrícolas (fertilizantes nitrogenados y fosfatados) contribuyen a este fenómeno.

**Drenaje ácido:** Pirita (principalmente), pirrotina o jarosita (menos activas en el proceso) +  $\text{O}_2$  +  $\text{H}_2\text{O}$  para que se produzca. Actúan bacterias (ej. thiobacillus ferrooxidans) como catalizadores. Pirita tiene un  $\text{S}^{2-}$  débilmente ligado que se oxida fácilmente y forma ácido sulfúrico en presencia de agua. La acidez genera disolución de metales de otros sulfuros.  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  es tanto o más oxidante

que  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Las consecuencias del vertido de las soluciones generadas sobre las aguas superficiales y subterráneas son incremento de metales en los cuerpos de agua y acuíferos, degradación de los ecosistemas acuáticos, impacto sobre la flora y la fauna del lugar, acidificación del suelo, daño a estructuras metálicas y de hormigón. El clima interviene en la cinética de las reacciones y en la concentración de las soluciones (calor aumenta velocidad de reacciones, precipitaciones diluyen soluciones).

- Natural/Antrópico: El drenaje ácido ocurre también en forma natural, en yacimientos de enriquecimiento supergénico (ej. Agua Rica: Arroyo Minas pH = 3. Río Candado pH = 8. Afluentes de Río Andalgalá, pH = 7). El drenaje ácido de mina genera mayor impacto, por grado de molienda en escombreras (aumenta superficie de reacción) y cantidad de superficie expuesta por las labores mineras.
- Monitoreo: En laboratorio se mide potencial de generación de ácido vs. potencial de neutralización. La composición de rocas de caja se estudia para saber si son generadoras de ácido o neutralizadoras.
  - Pruebas estáticas: Determinación de  $\text{S}^{2-}$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ . Adición de ácidos a muestras patrón para medir capacidad de neutralización. Si no hay pirita la lixiviación no se produce o es muy baja. Plagioclasas, carbonatos, clorita, epidota son neutralizadores.
  - Pruebas dinámicas: Volúmenes más grandes de muestras. Tiempos más largos de ensayo. Se simulan condiciones naturales.
- Medidas preventivas: Las escombreras pueden ser cubiertas o las labores inundadas para reducir disponibilidad de oxígeno. El agua del material procesado en planta de tratamiento puede ser extraída (ej. mediante filtros de banda), para luego ser almacenado en un lugar seco, en el que la humedad restante (18% aprox.) se perderá por evaporación. Pueden utilizarse bactericidas si la pirita se descompone por acción de bacteriana (inhibición de microorganismos puede reducir producción de ácido hasta un 75%).
- Medidas de mitigación: Control del pH a través de la incorporación de materiales alcalinos neutralizadores de acidez (ej. caliza), posterior a la sedimentación del material en suspensión que interfiere en dicha reacción. La relación caliza a pirita para la neutralización a pH = 7 es cuatro a uno. Las técnicas para suministrar los materiales neutralizantes son varios y varían en diseño (ej. humedales, drenaje anóxico de caliza, sistemas híbridos como Successive Alkalinity Producing System, etc.) El contenido en sulfatos se disminuye a través de materia orgánica, reduciendo sulfatos a sulfuros. Los sulfuros generados son capaces de precipitar ciertos metales. Otros metales (ej. Fe, Al) precipitan como óxidos al aumentar el pH. Otra medida de mitigación son las barreras reactivas permeables, cuyo funcionamiento se rige por los mismos principios, pero se utilizan una vez que las soluciones fueron vertidas. La fitoremediación emplea especies vegetales resistentes para estabilizar suelos enriquecidos con metales y así favorecer la formación de suelos y evitar dispersión por erosión; o hiperacumuladoras, que pueden incorporar a su metabolismo los metales que se encuentren en forma asimilable (en solución o formando complejos orgánicos), pero estas últimas tienen la desventaja de ser selectivas (acumulan una sola especie metálica).

No hay legislación específica para drenaje ácido de mina. Se aplican normas de calidad de agua. Se monitorea pH, metales pesados. En el informe de impacto ambiental se incluyen pruebas estáticas y dinámicas.

**Tratamiento de efluentes:** Floculación, decantación, adsorción (carbón activado), eliminación de la materia orgánica para cloración (evita formación de compuestos organoclorados).

## SUELOS

Interface litosfera-atmósfera. Producen alimentos. Tradicionalmente se pensaba que tenían capacidad de atenuación ilimitada. No la tienen y su remediación tiene costos muy elevados. Es una barrera, puede impedir contaminación de la biósfera, el agua, el aire. El incremento demográfico (aparición de nuevos centros urbanos), el desarrollo industrial y agrícola, generan contaminación, degradación y ocupación de suelos.

- Formación: En la formación del suelo interactúan cinco factores.
  - Material parental: Roca madre. Determina composición del suelo (ej. sienita da material bauxítico, peridotita o basaltos dan lateritas, granitos material limo-arenoso, etc.)
  - Clima: Determina velocidad de formación (zonas cálidas meteorización es más activa).
  - Topografía: Zonas llanas son más favorables a formación de suelo. En zonas de fuertes pendientes predominan fenómenos de remoción de suelo o erosión.
  - Organismos vivos: Contribuyen a aireación y a ciertos fenómenos bioquímicos como las bacterias nitrificantes. Aportan materia orgánica por la descomposición de sus tejidos, etc.
  - Tiempo: A mayor tiempo, mayor desarrollo del suelo.
- Componentes: Materia mineral 45% (cuarzo, arcillas y otros componentes texturales; fragmentos rocosos, carbonatos, etc.) Agua 25%. Aire 25%. Materia orgánica 5%.
- Perfil: Exposición vertical de los horizontes de un cuerpo de suelo en la superficie. En general de 3 a 5 horizontes. O, A, E, C (Orgánico, Acumulación, Lixiviación, Roca Madre o Regolito).

**Contaminación del suelo:** Un suelo contaminado es aquél en que se ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser una fuente de contaminación para el agua, la atmósfera y/o los organismos. Sus equilibrios biogeoquímicos y sus propiedades físico-químicas sufren importantes modificaciones. El concepto de contaminante se relaciona a la calidad de suelo establecida para el uso al que se lo destinará. En el caso de que el contaminante supere cierto nivel guía establecido para el uso al que está destinado el suelo, implicará pérdida parcial o total de la capacidad productiva del mismo.

- Causas:
  - Erosión: Causa degradación de la capacidad productiva del suelo por remoción de suelo.
  - Compactación: Causa degradación de la capacidad productiva del suelo por deterioro de la estructura del mismo.
  - Expansión urbana: Pérdida de suelo para producción de alimento o sostenimiento de sistemas ecológicos.
  - Actividad agrícola: Mayor incidencia en relación a superficie. Plaguicidas, insecticidas, herbicidas, fungicidas. Cambios de uso del suelo desfavorables, como monocultivo, causan deterioro en la capacidad productiva del suelo. Malas prácticas de riego pueden causar deterioro en la capacidad productiva del suelo a través de la salinización.

- Minería: Aporta metales pesados que pueden ser adsorbidos en la fracción coloidal y estar disponibles para las plantas, incorporándose de esta forma a la cadena trófica.
- Industria: Sustancias sintéticas persistentes (orgánicas halogenadas, aceites, metales pesados, etc.)
- Residuos: Vertederos son depósitos de residuos tóxicos de todo tipo. Producen degradación del suelo, el agua, el aire.
- Efectos:
  - Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
  - Pérdida de la capacidad productiva.
  - Degradación paisajística.
  - Contaminación de atmósfera por volátiles (ej. descomposición de residuos en vertederos controlados)
- Tratamiento:
  - Registrar ubicación de zona contaminada, estudiar el grado de contaminación, aplicar cerco, sin acciones de remediación.
  - Contención, aislamiento del foco emisor. Confinamiento para evitar emisión de volátiles, control de lixiviados (ej. caso de vertederos controlados).
  - Recuperación: In-situ sin remoción de suelo. Ex-situ con remoción de suelo y traslado a planta de tratamiento.

**Vulnerabilidad:** Medida de sensibilidad del suelo frente a un episodio de contaminación. Relacionado de forma inversa al poder de amortiguación. A menor poder de amortiguación, mayor vulnerabilidad. Depende intensidad que debe tener el contaminante y del tiempo en que el mismo debe actuar hasta que las condiciones físico-químicas del suelo se vean alteradas. Los factores que afectan la vulnerabilidad son endógenos (espesor, textura, composición o naturaleza geoquímica) y exógenos (características del contaminante, forma de incorporación al terreno, régimen pluviométrico, temperatura, etc.) A modo de ejemplo, suelos alcalinos o salinos tendrán mayor poder de contrarrestar soluciones ácidas que otro tipo de suelos.

**Poder de amortiguación:** Suelo actúa como una barrera protectora. Realiza funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc. En un suelo contaminado el poder de amortiguación se ha visto superado, de manera que hay más contaminantes de los que puede filtrar, neutralizar, adsorber, descomponer, etc.

**Grado de contaminación:** No puede ser estimado exclusivamente a partir de los valores totales de los contaminantes.

- Biodisponibilidad: Capacidad de asimilación de contaminantes por organismos vivos.
- Movilidad: Regula la distribución (dispersión, concentración) del contaminante y su posible migración a otro sistema. Depende de la solubilidad y del grado en que la sustancia puede ser adsorbida por la fracción coloidal del suelo. Ej.  $\text{Fe}^{3+}$  soluble en medio ácido, insoluble en medio neutro.  $\text{Mn}^{2+}$  soluble,  $\text{Mn}^{4+}$  insoluble.  $\text{U}^{6+}$  soluble,  $\text{U}^{3+}$  insoluble.  $\text{Al}^{3+}$  se inmoviliza en medio cercano a la neutralidad.  $\text{Cd}$  soluble en medio ácido, se inmoviliza al aumentar el pH.  $\text{Cr}^{3+}$  se oxida a  $\text{Cr}^{6+}$  a pH bajo. Pesticidas adsorben especialmente en la materia orgánica.

- Persistencia: Regula periodo de actividad de la sustancia. Compuestos de persistencia baja se degradan con relativa facilidad o son biodegradables (ej. compuestos orgánicos naturales). Compuestos persistentes típicos son pesticidas, insecticidas organoclorados, herbicidas, PCB (compuestos orgánicos halogenados artificiales, en mayor parte organoclorados).
- Carga crítica: Cantidad máxima de un determinado componente que puede ser aportado al suelo sin causar efectos nocivos. Ej. países escandinavos tienen suelos no alcalinos, ricos en Fe-Al. El impacto de la lluvia ácida es mayor

#### **Agentes contaminantes:**

- Metales pesados: A bajas concentraciones son micronutrientes. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos.
- Emisiones ácidas: Pueden disminuir el pH en el suelo y solubilizar metales pesados altamente tóxicos.
- Aguas salinas: Generan degradación del suelo a través del deterioro de la estructura. Además, las sales interfieren en el crecimiento de la mayoría de las plantas, debido a que si la concentración de sales en el agua es mayor que en la planta no se produce absorción de nutrientes.
- Fitosanitarios: Productos sintéticos, orgánicos halogenados por lo general, persistentes y tóxicos. Algunos contienen metales pesados.

(\*) Casos de intoxicación por metales pesados: Cadmio: Minería del cadmio contaminó aguas en la cuenca del río Jinzu en Japón, con la que se regaban sembradíos de arroz, que consumía la población. La ingesta de Cd generó una afección ósea severa, daños renales, enfisemas, anemia. Plomo: Causa daños en el sistema nervioso. El plomo que puede afectar a las personas proviene de pinturas, combustible, material en suspensión en el aire, los alimentos, el agua. Es especialmente nocivo durante el desarrollo embrionario, debido a la formación del sistema nervioso. Mercurio: En el siglo XIX se utilizaban compuestos de mercurio en la fabricación de sombreros. Los trabajadores de la industria presentaban trastornos neurológicos a raíz de la exposición a los mismos. En la década de 1960 cientos de habitantes de Irak, Irán, India, Pakistán, murieron intoxicados por ingesta de cereales tratadas con un fungicida que contenía compuestos de mercurio. Las semillas estaban destinadas a la siembra, no a la ingesta. En Minamata (Japón) una fábrica de productos químicos vertió compuestos de mercurio de baja toxicidad a la bahía. La actividad de los microorganismos anaeróbicos transformó los compuestos a metilmercurio, que contaminó los peces que los pobladores de la bahía consumían, causándoles daños severos en el sistema nervioso.

**Análisis de Suelos:** Son de interés, en el análisis de los suelos, composición mineralógica (principalmente tipo de arcillas y óxidos o hidróxidos presentes), granulometría, densidad, porosidad/permeabilidad, porcentaje de humedad, volumen de suelo afectado, distribución de temperatura en perfil, etc.

#### Parámetros físico-químicos:

- Capacidad de intercambio: Propiedad por la cual iones del agua pueden intercambiarse con iones contenidos en la fracción coloidal del suelo con la que está en contacto. Sustancias con alta capacidad de intercambio en los suelos son ciertas arcillas (ej.

- montmorillonita y vermiculita, illita en menor medida), óxidos e hidróxidos coloidales (ej. de hierro y manganeso) y materia orgánica. Se expresa en meq/g o meq/100g.
- Reactividad: Relacionada al pH del suelo. Puede indicar el potencial neutralizador del suelo frente a soluciones ácidas o alcalinas.
  - Medida del pH: La medida del pH en el suelo no es directa (el concepto se refiere a una solución). En el suelo se toma el pH de su fracción líquida o de un líquido en equilibrio con el suelo (CaCl<sub>2</sub> 0,01 M; KCl 1 M o agua destilada según ISO 10390:2005). Para esto se debe mezclar suelo y agua destilada en relación 1:2 o 1:5 y medir el pH en 15 o 20 min sobre la solución o sobre un extracto filtrado. Al ser el pH una medida de concentración, se ve afectado por la disolución (aumenta con la disolución). El pH controla la disponibilidad relativa de los nutrientes para las plantas. Un valor óptimo de pH proporciona adecuada disponibilidad de nutrientes (para mayoría de las plantas 5,8-6,8; dependiendo el sustrato).
  - Potencial redox: Expresa la tendencia del suelo a oxidar o reducir. Valor relativo medido contra el punto 0 del electrodo normal de hidrógeno u otro electrodo de referencia. Si el sistema acepta electrones constituye una media celda de potencial redox (Eh) positivo. Si el sistema dona electrones constituye una media celda con potencial redox negativo. Eh positivo y de alta magnitud indica ambiente oxidante. Eh negativo y de baja magnitud indica ambiente reductor. Se mide en milivoltios o voltios. Relacionado a la composición mineralógica y la presencia de materia orgánica. La movilidad de las especies químicas en el suelo se ve afectada por cambios de potencial redox. Las condiciones redox del suelo influyen en meteorización, procesos biológicos y otros procesos generadores de suelo. La materia orgánica se encuentra reducida y tiende a oxidarse. Al oxidarse tiende a reducir otras especies. Por esto es reductora. La oxidación ocurre en mayor grado sobre los elementos que componen en forma reducida los minerales, pero también se da en otros componentes (ej. Fe<sup>2+</sup> en minerales primarios a Fe<sup>3+</sup> en óxidos e hidróxidos, Mn<sup>2+</sup> en Mn<sup>4+</sup>, S<sup>2-</sup> en sulfuros a S<sup>6+</sup> en sulfatos, nitrificación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). En suelos normales el ambiente es aireado por lo tanto la tendencia es oxidante. La saturación de agua tiende a provocar ambiente reductor. Fe y Mn son particularmente sensibles a los cambios de pH y Eh. El Eh puede indicar que aceptador inorgánico de electrones está siendo utilizado por miembros de la comunidad microbiana (ej. Lynch y Poole, 1979). La distribución espacial de microorganismos aerobios y anaerobios está determinada por el Eh (aerobios son metabólicamente activos a Eh positivo, anaerobios a Eh negativo). En el caso de Fe y Mn en estado oxidado forman compuestos y se inmovilizan. Las formas reducidas son solubles. Dependiendo la reacción, las especies químicas se inmovilizarán o se movilizarán (ej. Fe(OH)<sub>3</sub> → Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> → FeS, CO<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub>). Las descargas masivas de materia orgánica oxidable (ej. aguas de cloacas) producen un aumento en la actividad respiratoria de las bacterias heterótrofas. Esto disminuye el oxígeno disuelto. Ante esta disminución la reducción de otras especies con potencial redox menor que el oxígeno se ven favorecidas (ej. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que formará NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).
  - Contenido de MO: La materia orgánica actúa como un agente inmovilizador de los metales pesados, acomplejándolos. Se determina por diversas técnicas. Las más comunes se basan en la valoración de reacciones de oxidación de la materia orgánica total mediante reactivos oxidantes (ej. KMnO<sub>4</sub> o el KCr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), en la medición del carbono total presente por técnicas instrumentales o por pérdida de peso (secando a 110°C).
  - Análisis geoquímico total: Análisis de elementos mayores, minoritarios y trazas en el suelo. Mayores y menores pueden analizarse por fluorescencia de rayos x. Elementos traza por ICP-MS o espectroscopia de absorción atómica.

- Análisis del agua en el suelo: A menudo es un dato de gran interés para estudiar las condiciones de equilibrio entre agua y suelo, incluyendo el potencial de paso de los diversos cationes, entre ellos metales pesados, del suelo a la fase líquida.

**Muestreo de sedimentos de corriente:** Los metales pesados y otras especies contaminantes, tenderán a adsorberse en la fracción coloidal o limosa del suelo. Esta tenderá a su vez a ser arrastrada en la red de drenaje, de manera que los análisis de los sedimentos de corriente reflejarán la dispersión de los contaminantes en la zona. El grado de dispersión de los contaminantes depende de dos factores:

- Propiedades químicas de la especie: Algunas especies son más móviles que otras. La dispersión puede ser química (ej. formación de complejos solubles, adsorción en coloides) o mecánica (en forma de compuestos insolubles).
- Intensidad de erosión: Varía en función de la pendiente, el caudal, el clima. En una zona de clima lluvioso, con regímenes y caudales constantes, la dispersión es más regular y extensiva que en una zona de clima árido con lluvias estacionales, menos extensiva e irregular. En el NOA, clima árido o semiárido monzónico, con aguaceros estivales de corta duración y crecientes en las que el poder de arrastre de los ríos de montaña crece en uno o más ordenes de magnitud. Los gradientes de dispersión son irregulares. Cada crecida arrastra la mayor parte de los sedimentos depositados por la crecida anterior, reemplazándolos por nuevos sedimentos. Los nuevos sedimentos tendrán características similares a los removidos. Las variaciones en los metales pesados son drásticas, con picos de concentración y picos de dilución. El muestreo en estos casos se debe realizar componiendo varias muestras en tramos largos para obtener valores más uniformes y representativos de la distribución de los contaminantes. En cuencas de cauces antiguos el relieve es suave y el poder de arrastre de sedimentos es menor. En cuencas de cauces más recientes el relieve es más pronunciado y el poder de arrastre de sedimentos es mayor.

(\*) Los metales pesados no pierden su capacidad tóxica al estar almacenados de forma inactiva en el suelo. Simplemente están inmovilizados en las condiciones actuales del medio que, en caso de variar, significarán una nueva movilización del elemento hacia el medio. La movilización o inmovilización de la especie depende de su estado de oxidación. El estado de oxidación dependerá del pH y Eh del medio.

## OTRAS PROBLEMATICAS MEDIOAMBIENTALES

**Residuos:** Todo material considerado como un desecho, que se necesita descartar. Puede ser eliminado, reciclado o reutilizado. La eliminación tiene como fin evitar problemas sanitarios o medioambientales.

### - Clasificación:

#### Según su composición:

- Orgánicos: Todo desecho de origen biológico, principalmente derivado de sustancias alimenticias. Representa un alto porcentaje de la basura. Funciona como abono ecológico.
- Inorgánicos: Vidrio, papel, chatarra (principalmente latas de bebidas, conservas u otras sustancias), envoltorios y envases, plásticos (larga vida, la mayoría no se degrada).
- Peligrosos: Definidos en el Art. 2 de la Ley 24.051 como todo residuo que pueda causar daño directa o indirectamente a seres vivos o contaminar suelo, agua, atmósfera o ambiente en general, siendo particularmente peligrosos los indicados en los anexos I (categorías sometidas a control) y II (clases de las naciones unidas) de dicha ley. Productos de limpieza, pinturas, medicinas y pilas son altamente tóxicos. Las pilas son los productos más peligrosos por su contenido en Hg y Cd. Hg es bioacumulable, empezando su acumulación en plancton y algas. Una pila botón puede contaminar 600.000 l de agua.

(\*) Otro tipo de residuo peligroso son los residuos radiactivos, cuya gestión está reglamentada por la Ley N°25.018 (Régimen de gestión de residuos radiactivos) tanto en el ámbito estatal como privado, a cargo de la CNEA mediante el Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos.

#### Según su origen:

- Domiciliarios: Papeles, cartones, vidrios plásticos, restos de alimentos, telas, envases con restos de disolventes, pinturas, pesticidas, barnices, baterías de todo tipo, aceites de motor, etc. provenientes de casas o comercios, instituciones.
- Industriales: Todo material descartado en un proceso industrial.
- Hospitalarios: Material médico quirúrgico, elementos cortantes o punzantes, restos de tejidos humanos, fármacos, material infeccioso; deben recibir un tratamiento particular.
- Construcción: Generalmente inertes, no presentan problema desde el punto de vista sanitario.
- Municipales: Provenientes de ferias, limpieza de calles, podas, etc.

### - Tratamiento:

- Vertedero Controlado: También llamado enterramiento sanitario. Lugar destinado, por disposición municipal, a la disposición final de residuos en el cual se toman múltiples medidas para reducir los problemas ambientales generados por la descomposición y la dispersión de los residuos. Las paredes y la base del vertedero son impermeabilizadas. Los residuos son compactados y se agrega capa de sedimentos para evitar proliferación de animales y disminuir riesgo de incendios, trabajando sobre módulos que al ser llenados no reciben más material. Se instalan drenajes y conducciones para los líquidos y gases generados en la descomposición de los residuos. Los líquidos deben ser tratados antes de ser vertidos a otras fuentes de agua, mientras que los gases se recogen y aprovechan en plantas generadoras de energía que abastecen ciertas necesidades de la planta de tratamiento. Cuando el vertedero completa su capacidad el terreno debe quedar lo más integrado al paisaje que sea posible, de manera que sea apto para otros usos, pero la producción de metano deberá seguir siendo controlada.
- Residuos peligrosos: Confinamiento en el caso de residuos nucleares. Incineración u otras formas de esterilización en el caso de residuos hospitalarios. Procesos químicos en el caso de metales pesados.

**Desertización:** Degradación de las tierras en zonas secas, debida al impacto humano. Incluye suelo, recursos hídricos locales, vegetación o cosechas. Implica reducción de los recursos potenciales. La exposición a diversas formas de erosión impide que los procesos formadores de suelo recuperen el recurso. Las formas de desertización son:

- Sobrepastoreo: Resultado de mantener demasiado ganado pastando en superficie (supera capacidad de renovación de pastos de una zona). Pérdida de cubierta vegetal lleva a erosión del suelo.
- Sobreexplotación: Acortamiento de los periodos en que las tierras quedan en barbecho (libres de todo cultivo). Genera pérdida de nutrientes y erosión en el suelo. Ej. Cuenca de Polvo, EEUU, 1930. Erosión eólica en periodo de sequía por aplicación de técnicas de roturación profunda pensadas para regiones húmedas.
- Desforestación: Distinta a degradación forestal (en la que se reduce la calidad del bosque como recurso). Tala excesiva de vegetación para leña. Pérdida de cubierta vegetal lleva a erosión del suelo.
- Malas prácticas de cultivo: Relacionadas a la compactación de suelos.
- Malas prácticas de riego: Riego por inundación o con aguas salinas en lugares secos conduce a la salinización del suelo, que impide el crecimiento de la vegetación.

**Incendios:** Afectan sobre todo a la vegetación, pero también a animales en estado de hibernación, nidos de pájaros y madrigueras de roedores, etc. Los rumiantes deben movilizarse a otras zonas de pastoreo, en las cuales quizás otros grupos estén pastoreando, de manera que puede suponer un impacto, según la riqueza de las pasturas, el tamaño de los grupos movilizados y la superficie afectada por el incendio. La revegetación puede tomar hasta dos años, debido a que las primeras pasturas serán consumidas por pastoreo. Episodios intensos de precipitación pueden demorar aún más la revegetación removiéndola y lavando el suelo, sobre todo en zonas de fuerte pendiente. Desprovisto de la cobertura vegetal, el suelo es más vulnerable a la erosión hídrica y eólica.

**Paisaje:** Producto de evolución de agentes geodinámicos, bajo cierta condición climática. El concepto tiene su origen en la apreciación de los distintos componentes ambientales interactuando en conjunto por parte del observador, de manera que se percibe de distinta forma según valores emocionales, estéticos y culturales. El paisaje puede ser contaminado, modificado y hasta destruido. Todas las acciones humanas son causantes de contaminación paisajística (ej. pérdida de visibilidad o destrucción de componentes ambientales). El análisis del paisaje se realiza teniendo en cuenta dos aspectos:

- Visibilidad: Campo visual que puede apreciarse desde un punto. Incluye instalaciones en el contexto general del paisaje (contraste de las estructuras antrópicas en el paisaje). Se expresa como pérdida de visibilidad. Se evalúa mediante la toma de panorámicas desde distintos puntos. En las imágenes se analiza la incorporación de la infraestructura y la potencial pérdida de visibilidad, teniendo en cuenta la gama de colores de las instalaciones y el punto donde el campo visual incorpora mayor cantidad de elementos del entorno.
- Componentes: Presencia de ciertos elementos del paisaje que, aunque se encuentren en armonía con los demás elementos, resaltan en el contexto del ambiente y merecen ser analizados en forma diferenciada. En un análisis de impacto al paisaje se evalúa de que forma la infraestructura afectará a los componentes singulares del paisaje. Cada uno de los componentes debe ser descrito (tamaño, gama de colores, etc.)

La valoración de los impactos identificados sobre el paisaje a raíz de una actividad determinada, se realiza cuantificando el impacto hacia la visibilidad y los componentes singulares. El plan de medidas mitigadoras o correctoras debe apuntar al máximo aprovechamiento del paisaje por parte de la actividad con el mínimo impacto paisajístico.

## ÁREAS PROTEGIDAS

Área geográficamente definida, designada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación.

- **Nacionales:** En Argentina, a cargo de la Administración de Parques Nacionales (APN), regida por la Ley N°22.351 (Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales).
  - **Área Protegida:** Toda zona en la cual se protege, en diversos grados, la naturaleza y la cultura del país.
  - **Parque Nacional:** Área natural de especial belleza paisajística o alto valor ecológico. Actividad antrópica reducida al máximo. Ej. Parque Nacional Nahuel Huapi, Parque Nacional Iguazú, Parque Nacional Lanín, Parque Nacional Los Alerces, Parque Nacional Perito Moreno, Parque Nacional Los Glaciares. Todos creados en la primera mitad del S. XX.
  - **Reserva Natural:** Áreas en las que se preserva un paisaje, un ecosistema o una especie. Actividades económicas humanas limitadas (no deben afectar negativamente al patrimonio natural). Ej. Reserva Natural Formosa creada para proteger tatú carretas y yaguaretés.
  - **Monumento Natural:** Destinada a proteger objetos del reino mineral, (ej. geoformas singulares) o especies vivas como taruca, ballena franca austral, huemul, yaguareté, aguará guazú, pino del cerro, lahuán o alerce patagónico (ej. taruca o huemul del norte, ciervo propio de regiones montañosas de Perú, Bolivia, Chile, NW de Argentina, en pastizales en pisos superiores de las sierras).
  - **Parque Marino:** Ej. Parque Interjurisdiccional Marino Costero Patagonia Austral (Chubut).
  - **Reserva Natural Estricta:** Refugio de especies autóctonas o ecosistemas en grave riesgo.
  - **Reserva Silvestre y Educativa:** Zonas para la educación en ecología y preservación de la vida silvestre.
  
- **Internacionales:**
  - **Patrimonio de la Humanidad:** Conferido por la UNESCO. Pueden ser monumentos debidos a la mano humana o áreas naturales. Ej. Cueva de las Manos, Manzana Jesuítica de Córdoba, Ruinas Jesuíticas de Misiones, Parque Nacional Los Glaciares (Sta. Cruz), Península de Valdez (Chubut), Parque Nacional Iguazú (Misiones), Quebrada de Humahuaca (Jujuy), Parque Nacional Talampaya-Ischigualasto (La Rioja y San Juan).
  - **Reserva de Biosfera:** Conferido por la UNESCO. Red Mundial de Reservas de Biosfera como sitios de investigación, monitoreo, formación, donde se lleva a cabo una toma de decisiones participativa. Áreas en que la población puede mantener sus tradiciones y mejorar su bienestar económico mediante tecnologías cultural y ambientalmente adecuadas. Aspiran a modelos de ordenamiento territorial. El factor humano las distingue respecto a las demás reservas naturales. Estas reservas tienen una zonificación que consiste en un núcleo constituido jurídicamente

dedicado a la conservación de la biodiversidad (puede haber varias en la misma reserva, para asegurar cobertura de distintos ecosistemas), zona de amortiguación circundante al núcleo donde solo pueden llevarse a cabo actividades compatibles con la zona núcleo y una zona de transición externa. La zona núcleo es constantemente monitoreada. En las zonas de amortiguación y de transición se llevan pueden asentar instalaciones de investigación y pueden llevarse a cabo actividades de turismo y recreación. Puede haber asentamientos urbanos en ambas. En la zona de amortiguación se desarrollan tareas educativas y de capacitación. Ej. Laguna Blanca (Catamarca). Representa transición entre puna salada y puna semiárida, con pampas de altura separadas por cordones serranos, planicies surcadas por hilos de agua y ciénagas o vegas de altura que sustentan la vida en estos ambientes inhóspitos. Motivo de creación fue protección de vicuña (se encontraba en riesgo de extinción). En la reserva hay cuatro grupos poblacionales en el Dpto. Belén (Laguna Blanca, Corral Blanco, Aguas Calientes, La Angostura). Los lugareños se dedican a la cría de ganado menor y agricultura para autoconsumo.

- Sitios Ramsar: Establecidos en la convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas (Ramsar, Irán, 1975). El principal objetivo es la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales, nacionales y mediante la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo.

## IMPACTO AMBIENTAL

Cuando una acción o actividad produce una alteración favorable o desfavorable en el medio o en alguno de sus componentes. La acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales. El impacto de la acción o actividad sobre el medio ambiente es la diferencia entre la situación del medio ambiente modificado como consecuencia de la misma y la situación del medio ambiente tal como habría evolucionado naturalmente. Ej. Proyecto de educación ambiental en escuelas primarias tiene un impacto positivo en el medio sociocultural. Disminución de desechos sólidos tiene un impacto positivo de duración permanente, probabilidad de ocurrencia moderada, intensidad es mediana. Mejoramiento de higiene personal tiene impacto positivo de duración permanente, probabilidad de ocurrencia alta, magnitud mediana. Aumento de la vegetación arbórea tiene impacto positivo de duración permanente, probabilidad de ocurrencia baja, grado de intensidad alto.

**Evaluación de impacto ambiental:** Debe comprender al menos la estimación de los efectos sobre la vida humana, la fauna, la flora, la vegetación, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje, los ecosistemas presentes; debe contemplar efectos sobre el patrimonio histórico y arqueológico. Dado su carácter predictivo, se aplica a proyecto y planes, no a obras ya realizadas. El objetivo es la realización de un estudio del impacto sobre el medio ambiente a raíz de la puesta en marcha de un proyecto, obra o actividad. La finalidad es prevenir deterioros ambientales costosos de remediar. Se realiza en cinco etapas que se desarrollan al mismo tiempo que la fase de pre-inversión:

- Descripción de la situación actual (diagnóstico o inventario).
- Identificación y predicción de impactos.
- **Evaluación de impacto ambiental propiamente dicha.**
- Identificación y valoración de medidas de prevención o mitigación de impactos negativos.
- Valoración en términos económicos de todos los impactos.

La evaluación de impacto ambiental tipo se completa a través de matrices de Leopold y método de Batelle-Columbus.

- **Instrumentos:** Todos los instrumentos tienen bases técnico-científicas y funcionan a nivel jurídico-administrativo.
  - o Evaluación de impacto ambiental: Procedimiento técnico-administrativo-jurídico-científico, destinado a identificar e interpretar, así como prevenir o recomponer, los efectos de corto, mediano y largo plazo que actividades, proyectos, programas y/o emprendimientos públicos o privados puedan causar al ambiente. Permite decidir sobre la viabilidad de un proyecto.
  - o Estudio de impacto ambiental: Estudio técnico interdisciplinario base del documento técnico que debe presentar el titular del proyecto. Tiene carácter de declaración jurada. Es un elemento de análisis que provee información al procedimiento administrativo que es la evaluación de impacto ambiental, que culmina con la declaración de impacto ambiental.
  - o Declaración de impacto ambiental: Documento administrativo por medio del cual la autoridad competente autoriza, rechaza o acepta con modificaciones el proyecto.

- Auditorías: Evalúan los efectos que ocasiona el funcionamiento de instalaciones existentes, sobre el medio ambiente, a fines de determinar el grado de cumplimiento de las normas pertinentes, aun las que fueron dictadas con posterioridad a la ejecución del proyecto. La evaluación de impacto ambiental debe complementarse con auditorías de control. Al igual que la evaluación de impacto ambiental las auditorías son instrumentos administrativos y jurídicos.
- **Métodos**: Selección del método depende de varios factores, entre ellos disponibilidad de tiempo y recursos (técnicos, financieros, información, etc.), de disposiciones legales, términos de referencia y preferencia del equipo técnico evaluador. Una evaluación de impacto ambiental analiza un sistema complejo, con muchos factores y fenómenos difíciles de cuantificar. Según la actividad, acción o proyecto del que se trate, unos métodos pueden ser más efectivos que otros.
  - Matrices: Relaciona las acciones del proyecto y los componentes del medio ambiente alterado. Cuadro de doble entrada. Columnas son las acciones. Filas son los factores. Complejidad aumenta en la medida que los distintos criterios de valoración se incorporan en la matriz. Mayor desventaja es subjetividad en evaluación de impactos. Otra desventaja es que solamente se identifican impactos. Pueden contemplarse en ellas diferentes etapas del proyecto.
 

Matriz de Leopold: Uno de los métodos más empleados en evaluación de impacto ambiental para casi todo tipo de proyecto. Columnas: 100 acciones que pueden causar impacto al ambiente. Filas: 88 características del medio (factores ambientales). 8800 posibles interacciones (en la práctica se consideran alrededor de 50 o menos). Inicialmente se evalúa interacciones existentes, considerando acciones en el proyecto, y para cada acción, los factores ambientales alterados. En cada casilla en que estos coincidan se hace una diagonal. Cada casilla representa impactos posibles. Admite dos valores, magnitud (alteración máxima provocada en el factor ambiental, asociada a extensión superficial, ej. local o regional) e importancia (peso relativo que el factor ambiental considerado tiene dentro del proyecto). La estimación subjetiva de la magnitud del impacto se hace en una escala de 1 al 10, agregando signo “+” o “-” (impacto positivo o negativo). La estimación subjetiva de la importancia o intensidad del impacto también se hace en una escala numérica del 1 al 10. Estas valoraciones se ubican en una casilla segmentada en diagonal (arriba magnitud, abajo intensidad). A pesar de hacer una ponderación, los valores en las distintas cuadrículas no son comparables. No pueden sumarse o acumularse. La sumatoria sobre cada columna da una idea de la agresividad de cada acción sobre el medio. La sumatoria sobre cada fila da una idea de la incidencia del conjunto de acciones sobre cada factor y por lo tanto su fragilidad frente al proyecto (vulnerabilidad). Ventajas: Permite estimación subjetiva de los impactos mediante escala numérica. Determinación de interacciones. Desventajas: No considera impactos indirectos del proyecto.

Matriz de grandes presas: Utilizada para evaluación de impactos ambientales en construcción de presas o centrales hidroeléctricas. La diferencia con la matriz de Leopold, es que involucra otros criterios de valoración: Los impactos pueden ser positivos, negativos o a confirmar por estudios más detallados (previsibles). La importancia o intensidad puede ser mayor, moderada o menor. Añade criterios de certidumbre (cierto, probable, improbable, desconocido), duración (temporal o

permanente), plazo (inmediato, mediato o a largo plazo), consideración (si la acción es aceptada o rechazada). Desventaja: Subjetividad en la evaluación de impactos.

- Método cuantitativo Battelle-Columbus: Método cuantitativo. Diseñado para planificación de recursos hídricos. 4 categorías ambientales (ecología, contaminación, aspectos estéticos, aspectos humanos). 18 componentes. 78 parámetros. Orden creciente en información que aportan. Los parámetros son medibles, estimándose por medidas o niveles a partir de datos del medio (mediciones reales siempre que sea posible). Las medidas de cada parámetro en sus unidades características se consideran inconmensurables. Deben llevarse a una escala de puntuación de 0 a 1 que representa el índice de calidad ambiental. Esto se hace atribuyendo al 0 un pésimo grado de calidad y a 1 el óptimo. Los valores de los parámetros se transforman en unidades conmensurables mediante funciones de transformación. Las funciones de transformación son el resultado de representar gráficamente el índice de calidad en ordenadas y la magnitud medible en abscisas, lo cual generará una función particular para cada parámetro. Para cada valor que se tenga, se llevara a abscisas para obtener el índice de calidad correspondiente. Finalmente, se deberá obtener las unidades de impacto ambiental, a través del producto entre el índice de calidad ambiental y importancia del parámetro considerado, también denominado índice ponderal. Este índice considera un valor de unidades de importancia (mil unidades) asignadas al total de los parámetros, de manera que para cada parámetro se asignará una porción de estas unidades en función de su mayor o menor contribución a la situación del medioambiente. El índice de calidad modificará la importancia de tal manera que si todos los parámetros tuviesen un índice de calidad óptimo la sumatoria de las unidades de importancia para cada parámetro será igual a 1000. Considerando que los índices ponderales del parámetro representan su importancia dentro de un sistema, no deben variar significativamente dentro de zonas geográficas y contextos socioeconómicos similares, a menos que se hayan producido cambios recientes en dichas zonas. Esto atenúa la interpretación subjetiva del evaluador. El método produce dos sumatorias de unidades de impacto ambiental, uno en condiciones normales sin llevarse a cabo el proyecto y otro llevándose a cabo el proyecto propuesto. La diferencia entre los dos resultados ( $UIA_{C.P.} - UIA_{S.P.} = UIA_N$ ) es una medida del impacto ambiental neto. Considerando que las UIA (Unidades de Impacto Ambiental) son conmensurables, pueden ser sumadas para evaluar el impacto de distintas alternativas de un mismo proyecto o acción para obtener la óptima. Para evitar afectar parámetros de forma inadmisibles y que queden diluidos en la percepción del impacto neto se establecen banderas rojas o señales de alerta, que indican mayores impactos adversos y elementos frágiles del medio ambiente, que requieren un estudio detallado.
- Checklist: Diseñado para identificación de impactos causados por acciones en proyectos de construcción de carreteras. Por más completa que sea la lista, se pueden omitir variables. No permite visualizar la relación de los impactos con los diferentes componentes ambientales. No permite la valoración y categorización de los impactos. Las listas deben elaborarse para cada proyecto en particular, a fines de identificar impactos no incluidos en el formato original del método.
- Superposición de mapas en transparencias: Consiste en representar espacialmente un inventario de la situación antes del proyecto y la información de

- planificación territorial en la región, junto a otro de los impactos identificados durante el proceso de evaluación ambiental del proyecto. Los impactos se identifican en el ambiente a través de la elaboración de mapas temáticos (suelo, drenaje, cobertura, etc.) que serán comparados con mapas de ordenamiento territorial mediante superposición. Puede ser utilizado en proyectos lineales como de construcción de carreteras, conductos, líneas de energía y comunicaciones. Si se emplea este método soportado en un sistema de información geográfica, se puede integrar por modelos matemáticos las acciones del proyecto que maximicen calidad ambiental o minimicen impactos ambientales.
- Redes de interacción: Trata de visualizar de manera gráfica las causas con los efectos primarios, secundarios y de otros órdenes. El nivel de probabilidad de que ocurra una alteración y la importancia de la misma es una condición suficiente para crear otro eslabón en la cadena de efectos. Es orientativo de los impactos directos e indirectos. Ej. Creación de un embalse > Recursos afectados (agua, suelo, aire) > cambios en usos de suelo (no afecta al aire) > efectos físicos o químicos (en cada caso y para el aire también) > efectos biológicos (en cada caso, consecuencia de los cambios en uso de suelo y de los cambios químicos y físicos); etc. Los elementos de las distintas categorías se unen con flechas.
  - Método Delphi: En caso de la ausencia de información cuantitativa, se debe recurrir a la observación de expertos en diferentes áreas. El impacto ambiental se evalúa según el conocimiento y la experiencia de cada uno en su materia. El responsable de la evaluación elabora un cuestionario al que deberán responder los expertos. En base a las respuestas se elaborará otro cuestionario, hasta agotar los posibles impactos sobre el medio. Finalmente se elaboran conclusiones.
- **Estructura**: La estructura de un estudio de impacto ambiental incluye una serie de componentes mínimos.
- Diagnóstico o inventario: Descripción del entorno ambiental del proyecto (situación medioambiental anterior al proyecto). Este es el ambiente con el que interactuará el proyecto. Deben establecerse claramente sus límites y llevarse a cabo estudios ambientales de línea de base. Debe caracterizarse (en lo posible de forma cuantitativa) los recursos existentes en el área de influencia. Debe acompañarse con mapas temáticos. No debe limitarse a la presentación de datos, sino también, debe indicar la manera en que interactúan subsistemas en el medioambiente (abióticos, bióticos, factores socio-económicos, políticos, institucionales, etc.)
  - Área de influencia y localización: Necesario indicar localización geográfica, mediante mapa. Debe incluir nombre de la región, departamento, municipio, poblaciones, etc. Debe incluir área a ocupar y coordenadas. Escala depende del tipo de proyecto y de la etapa en que se encuentra (inicialmente, 1:100.000 a 1:50.000; etapa de pre-factibilidad 1:25.000, etapa de factibilidad 1:10.000). Los límites del área de influencia se modificarán a medida que se tenga más información sobre el tipo de impactos generados por el proyecto.
  - Descripción del medio biofísico: Debe incluir componentes ambientales que serán afectados. Deben incluirse parques, reservas científicas, sitios naturales de importancia ecológica, corredores biológicos (espacio geográfico que proporciona conectividad entre paisajes, ecosistemas, hábitats naturales o modificados,

asegura el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos), etc.

- Clima: Conjunto de condiciones atmosféricas que se presentan en una región a lo largo de los años.
  - Calidad de aire: Tipo y concentración de partículas o gases en la atmósfera. Niveles de contaminación existentes. Nivel sonoro.
  - Geomorfología: Ciertas características geomorfológicas pueden provocar riesgo ambiental.
  - Hidrología: Inventario de fuentes de agua superficial y subterránea. Calidad, reservas, caudales, extensión, niveles estáticos o dinámicos, obras civiles (canales, presas, perforaciones, etc.)
  - Suelos: Características físicas y químicas. Calidad.
  - Vegetación: Composición y extensión de la cobertura vegetal de la zona. Especies en peligro de extinción, singulares de la zona, raras (si se tuviera, información poblacional). Especies indicadoras de degradación, si la hubiera. Productividad (energía o biomasa por unidad de superficie y tiempo).
  - Fauna: Composición. Especies en peligro de extinción, singulares de la zona, raras (si se tuviera, información poblacional). Deben incluirse vertebrados e invertebrados. Grado de aislamiento: Posibilidad de dispersión de elementos móviles del sistema. Poblaciones más aisladas son más vulnerables.
  - Paisaje: Concepto responde a criterios estéticos y subjetivos. Existen criterios de valoración como singularidad, integridad, pureza, representatividad, etc.
  - Procesos: Erosión eólica, hídrica, inestabilidad de masas de suelo o rocosas, etc. Afectar elementos del medioambiente a corto o largo plazo.
  - Medio sociocultural: Información demográfica (características cualitativas y cuantitativas como cantidad, edad, sexo, fuentes de empleo, distribución de ingresos, salud, educación, etc.); uso de la tierra, actividades en planificadas o en ejecución, organizaciones comunitarias, nivel y fuentes de empleo, distribución de ingresos, salud, patrimonio cultural, grupos étnicos, costumbres, tradiciones, etc.
  - Medio económico: Alteraciones directas o indirectas producidas por un proyecto. Los impactos en el medio económico pueden ser positivos (ej. construcción de caminos o líneas de comunicación) o negativos (ej. desviación temporal de cauces utilizados para riego en zonas agrícolas).
    - Sector primario: Agricultura, ganadería, pesca, cacería, silvicultura, minería.
    - Sector secundario: Actividades transformadoras (industria, construcción, producción de energía).
    - Sector terciario: Resultado no es producto físico. Servicios, transporte, comercio, administración.
  - Medio institucional: El proyecto propuesto se analiza en contraste con la legislación existente.
- Valoración cualitativa y cuantitativa del impacto ambiental.

- **Etapas:**

- Análisis del proyecto.
- Definición del entorno del proyecto. Descripción de cada factor. Diagnóstico ambiental.
- Previsión de los efectos del proyecto sobre el medio.
- Identificación de las acciones.
- Identificación de factores.
- Elaboración de matriz. Valoración cualitativa del impacto. (Leopold)
- Predicción de magnitud de impacto sobre cada factor.
- Valoración cuantitativa del impacto ambiental (Batelle-Columbus).
- Definición de plan de gestión ambiental (mitigación, prevención, compensación, programa de monitoreo).
- Participación pública.
- Emisión del informe final.
- Decisión del órgano competente. Emisión de DIA.

(\*) 1-6: Valoración cualitativa. 7-9: Valoración cuantitativa. 1-9: Estudio de impacto ambiental.

**Identificación de acciones:** Una vez que se analizó el proyecto se discriminan las acciones impactantes, según los siguientes criterios:

- Acciones que modifican uso de suelo (ej. construcción)
- Acciones que implican emisión de contaminantes (ej. vertido de efluentes)
- Acciones que implican sobreexplotación de recursos (ej. extracción de agua subterránea, extracción de áridos)
- Acciones que repercuten sobre medio biótico (ej. deforestación, carreteras, vallados)
- Acciones que repercuten sobre paisaje (ej. construcción, deforestación, extracción de áridos, voladuras, etc.)
- Acciones que repercuten sobre infraestructuras (ej. caminos de tránsito denso, cambio en condiciones de drenaje subterráneo)
- Acciones que modifican entorno social, económico, cultural (ej. caminos, líneas de comunicación, derivación y conducción de agua, etc.)

**Identificación de factores:** Componentes (Unidad I) se descomponen en factores (ej. componente agua se descompone en calidad de agua, caudales, reservas, niveles estáticos y dinámicos, área de cuencas, longitud de cauces, etc.) Para definirlos hay ciertos criterios.

- Significación: Capacidad de generar alteraciones.
- Independencia: Evitar duplicaciones.
- Representatividad: Vinculación al proyecto.
- Cuantificación: Si es posible o no.
- Exclusividad: Algunos son excluyentes.

(\*) En un mercado público: Aire (aumento de nivel sonoro). Hidrología (calidad de agua por vertidos y contaminación fecal). Suelos (compactación, erosión, calidad de suelo).

Vegetación (deforestación). Fauna (aumento en población de roedores e insectos). Paisaje (denudación de superficie, disposición de desechos sólidos). Salud (aumento de parasitosis, problemas respiratorios). Cultura (aumento de delitos, desechos sólidos, negocios ilegales).

**Indicadores de impacto ambiental:** Elemento asociado a un factor que proporciona magnitud del impacto en aspecto cualitativo o cuantitativo.

- Característica de los indicadores: Calidad del indicador depende de representatividad (respecto al impacto del proyecto), relevancia (información lo suficientemente significativa), exclusión (no es excluyente con otro indicador), cuantificación (si es posible), claridad (debe ser claro y conciso).
- Algunos indicadores:Calidad de aire: Situación de fuentes de emisión, áreas donde niveles sobrepasan estándares de calidad, etc. Ruidos: Área con niveles sonoros fuera de estándares de calidad. Geomorfología: Zonas donde el relieve tiene que ser modificado, zonas de taludes inestables. Hidrología: Fuentes de emisión, ríos de bajo caudal, humedales, zonas de posible infiltración de fluidos. Suelo: Zonas planas colectoras de flujos subterráneos contaminados, zonas posiblemente deforestadas. Vegetación: Zona boscosa, especies protegidas o en peligro, zonas con peligro de incendios, pasturas, etc. Fauna: Similares a vegetación, adicionando efectos de movilidad de las distintas poblaciones (un indicador de impacto puede ser poblaciones de movilidad reducida), zonas de reproducción, desove, alimentación, rutas migratorias, etc. Paisaje: Número de puntos de interés paisajístico. Demografía: Variaciones de población total, nivel de empleo generado, cantidad de personas con alteraciones a la salud resultado deterioro en calidad ambiental, cantidad de personas desplazadas por un proyecto. Factores socioculturales: Zonas relacionadas a cultura o modo de vida tradicional, cantidad y valor de elementos de patrimonio histórico-cultural-artístico. Sector primario: Área cultivada, tipo de cultivo, cantidad de material procesado, cantidad de ganado, aumento o reducción de renta de la tierra, etc. Sectores secundario y terciario: Demanda de servicios, demanda de productos, ingresos medios, etc.

**Valoración de impacto ambiental:** Impactos ambientales de acciones sobre elementos del ambiente (sistemas, subsistemas, componentes, factores) se valoran de acuerdo a su magnitud (cuantitativa) y su importancia (cualitativa). Criterios de valoración:

- Signo: Impacto puede ser positivo (beneficioso), negativo (perjudicial) o nulo.
- Intensidad: Grado de incidencia de la acción sobre el elemento ambiental.
- Extensión: Escala espacial. Cobertura geográfica del impacto.
- Momento: Tiempo que transcurre entre la acción y el efecto sobre el elemento considerado.
- Persistencia: Tiempo entre inicio y el cese del efecto sobre el elemento considerado. En ciertos casos el efecto es temporal (ej. desviación de cauces); en otros puede ser de carácter permanente (ej. presa).
- Reversibilidad: Posibilidad de reconstrucción del elemento ambiental afectado, consecuencia de la acción considerada, por medios naturales, una vez cesado el impacto.

- **Sinergia:** Contempla reforzamiento de dos o más efectos, que al actuar en conjunto producen mayor impacto respecto a su actuación individual.
- **Acumulación:** Incremento progresivo del efecto cuando persiste en forma continua la acción que lo genera.
- **Efecto:** Impacto puede ser directo o indirecto. El impacto directo tiene relación directa con la acción. El impacto indirecto deriva de cambios provocados por la acción.
- **Periodicidad:** Regularidad de manifestación del efecto con acción impactante presente.
- **Recuperabilidad:** Posibilidad de reconstrucción total o parcial del elemento ambiental afectado, consecuencia de la acción considerada. Posibilidad de volver a las condiciones naturales por intervención humana, una vez cesado el impacto.

**Importancia:** (Conesa – Fernández Vitora, 1997)

- **Calculo de la importancia:** Para cada interacción entre una acción y un factor ambiental. Valores se incluyen en una matriz. Según:

$$IMP = 3INT + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC$$

Donde **INT** es intensidad, **EX** extensión, **MO** momento, **PE** persistencia, **RV** reversibilidad, **SI** sinergia, **AC** acumulación, **EF** efecto, **PR** periodicidad, **MC** recuperabilidad. Se incluye el signo del impacto.

(**Intensidad:** 1 baja, 2 media, 4 alta, 8 muy alta, 12 total. **Extensión:** 1 puntual, 2 parcial, 4 extenso, 8 total, 12 crítica. **Momento:** 1 largo plazo, 2 mediano plazo, 4 inmediato, 8 crítico. **Persistencia:** 1 fugaz, 2 temporal, 4 permanente. **Reversibilidad:** 1 corto plazo, 2 mediano plazo, 4 irreversible. **Sinergia:** 1 sin sinergismo, 2 sinérgico, 4 muy sinérgico. **Acumulación:** 1 simple, 4 acumulativo. **Efecto:** 1 indirecto, 4 directo.)

- **Rango de calificación:** Valores entre 13 y 100 o mayores cuando se asignan puntos extras por circunstancias extraordinarias no contempladas.
  - Inferior a 25: Irrelevantes.
  - 26 a 50: Moderados.
  - 51 a 75: Severos.
  - Mayor a 75: Críticos.

**Magnitud:** Cantidad de factor alterado. Dada por valoración cuantitativa de un parámetro del factor ambiental afectado (ej. magnitud de contaminación de agua cuantificada mediante determinación de parámetros físico-químicos o bacteriológicos que puedan ser alterados por el proyecto.) La cuantificación debe realizarse en una situación previa al inicio del proyecto y mientras el proyecto está en funcionamiento, para evaluar el cambio neto en la magnitud de ese parámetro. Impacto sobre un factor puede proceder de una acción o un conjunto de ellas. Se emplearán distintos indicadores para cada acción. Al calcular la magnitud pueden aparecer valores distintos para cada casilla de cruce (ej.

magnitud de contaminación de agua de un río es distinta para acción de vertidos domésticos que para vertidos industriales). Se considera 0 a condiciones pésimas y 1 a condiciones óptimas (éstos se atribuyen valores guía o de calidad ambiental). Luego se interpolan los valores obtenidos antes y durante el proyecto en esta escala de 0 a 1.

**Determinación de medidas de prevención o mitigación:** Las de prevención evitan los impactos negativos. Las de mitigación controlan los efectos negativos sin evitarlos completamente. Es preferible evitar impactos negativos. En casos donde esto resulta imposible se implementan medidas de mitigación. Estas pueden ocasionar impactos negativos directos o indirectos (pero serán menores que los impactos negativos a mitigar, de lo contrario la medida carece de sentido).

**Valoración económica de los impactos ambientales:** La externalidad incluye costos o beneficios de proyectos que no se reflejan en el presupuesto (se puede extrapolar a costos o beneficios de un bien o servicio que no se reflejan en su precio en el mercado). Es la porción del impacto que no es tratado como impacto en el plan de gestión ambiental (ej. degradación de suelo por el monocultivo, sobreexplotación de acuíferos para sostener ritmo de producción agrícola, contaminación por pesticidas, etc.) por desconocimiento, exigencias de producción, malas regulaciones económicas estatales, etc. Otra forma de verlo es que son efectos ambientales no remediables. La valoración de los impactos permite incorporarlos en el proceso de toma de decisiones, utilizando la relación costo-beneficio u otros parámetros de evaluación en etapas de pre-factibilidad y factibilidad del proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Watkins, Silvia 2009. Apunte de la Cátedra de Manejo y Conservación de los Recursos Naturales.
- Organización Mundial de la Salud, 2006. Guías para la calidad del agua potable, Vol. 1: Recomendaciones. ISBN: 92 4 154696 4.
- Organización Mundial de la Salud, 2006. Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2015. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2013.
- United States Department of Agriculture (USDA), 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo
- Niosh Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th Ed. 1994. 0600, Issue 2. Particulates not otherwise regulated, respirable.
- Doménech, X. 2000. Química Ambiental. 5ta Ed. Miraguano S.A. Ediciones, Madrid.
- Ley 18.284 (Código Alimentario Argentino), 2012.
- Ley 19.587 (Higiene y Seguridad Laboral).
- Ley 20.284 (Calidad de Aire).
- Ley 24.051 (Residuos Peligrosos), 1993.
- Ley 24.585 (Protección ambiental para la actividad minera).
- Ley 25.018 (Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos), 1998.
- Ley 25.675 (Ley General del Ambiente), 2002.
- Organización de las Naciones Unidas. 1987. Asamblea general. Desarrollo y Cooperación Económica Internacional: Medio Ambiente. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: "Nuestro futuro común". 416 Pags.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens III, W.W. 1972. Limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. Universe Books, New York. 205 Pags.