

### III. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE

#### 1.0. Medio Natural Físico

##### 1.1. Geología

Durante los casi cinco billones de años de la historia de la tierra, los materiales que conforman las capas más externas, han sido permanentemente creados, mantenidos y destruidos en forma continua, debido a varios procesos de los ámbitos físicos, químicos y biológicos. Con la excepción de los períodos iniciales en la génesis del planeta, los procesos que produjeron muchos de los materiales imprescindibles para la vida, han seguido ocurriendo en forma periódica. A este proceso periódico de transformaciones, de formación y destrucción de material, se le denomina *ciclo geológico*.

Actualmente se reconoce que otros sub-ciclos como: el ciclo tectónico, el ciclo hidrológico, los ciclos biogeoquímicos y el ciclo de las rocas, conforman la idea fundamental del ciclo geológico.

##### 1.2. La tectónica de placas y sus ciclos

El ciclo tectónico es manejado por fuerzas que se originan en lugares muy profundos del planeta. Estas fuerzas deforman la superficie, generando las cuencas oceánicas, los continentes, las cordilleras y las formas de las costas. Ahora sabemos que las capas que contienen la cuencas oceánicas, los océanos, los continentes, tiene un espesor variable, que no sobrepasa los 100 km. Esta gran capa, conocida como la *Litosfera*,

no tiene una conformación uniforme a lo largo y ancho del planeta, sino por el contrario, se conforma de varios segmentos independientes entre sí, conocidos como placas, de material lítico, las que se mueven relativamente entre ellas. Sobre esta base se construye la teoría de la *tectónica de placas*, la que en líneas generales describe la forma cómo estas placas flotantes sobre la *astenosfera* ( la capa mas o menos continua debajo de la litosfera, de menor fuerza y mayor plasticidad), muestran desplazamientos que al correr del tiempo, generan movimientos o desplazamientos de las placas de fondos marinos y de los continentes, fenómeno conocido como *deriva continental*.

Se cree que el episodio de deriva más reciente, se inició aproximadamente hace unos 200 millones de años, cuando se produce el quebrantamiento del supercontinente *Pangea*. Se denomina así, a la tierra emergida que existió en ese período, constituida por solo una gran masa continental, mientras el resto de la superficie del planeta se mostraba cubierto de agua, sostenida por una costra sumergida. Así, la inestabilidad de la litosfera agudizada por las fuerzas tectónicas generadas por los movimientos convectivos del magma profundo, termina por agrietarse e incorporar nuevo material, propiciando colosales fuerzas de empuje. A partir de aquí, se producen zonas de aporte de material desde las profundidades del planeta, mientras en los frentes opuestos, el choque de placas en sus bordes encontrados, genera zonas de profundos

flectamientos hacia el interior, conocidos como las zonas de subducción. Es importante consignar que en los bordes de encuentro entre placas de dirección opuesta, se producen además, plegamientos, quiebres que producen levantamientos o hundimientos de franjas fracturadas de corteza, todo lo cual le confiere a estos bordes, las características accidentadas de sus formas superficiales, con la generación de cordilleras y valles longitudinales. En nuestra zona, la placa de Nazca que comprende un segmento del fondo del océano Pacífico, adyacente a las costas del norte de Chile, deriva actualmente hacia el Este, mientras que la placa que sostiene y conforma el continente, se desplaza hacia el Oeste, generándose en sus bordes de encuentro, los plegamientos longitudinales caracterizados por la cordillera de la Costa, Cordillera e Domeyko, llanuras prealtiplánicas, cordillera de Los Andes, levantamientos altiplánicos y una extensa zona central o mesodesierto. Son bordes de acumulación de energía, la que se libera en forma pausada (temblores) o en forma un tanto más violenta (terremotos).

En términos generales, a lo largo de todos los bordes de coacción entre placas, se producen zonas de intensa actividad volcánica. Se conocen tres tipos de zonas de encuentro o bordes entre placas (ver Figura II-1): (a) las *divergentes*, ubicadas en los fondos de los océanos y algunos mares, en fracturas en donde las placas se mueven alejándose una de otra producto de la adición de nuevo material litosférico, el que se incorpora a ambos lados de la hendidura. (b) bordes *convergentes*, (zonas de subducción), en que placas se encuentran y presionan en

direcciones de choque. Ocurre en estos casos una de dos alternativas de comportamiento geológico: (b.1) en varios lugares los materiales de encuentro de las placas son de corteza dura y pesada, produciendo que una de ellas se deslice debajo de la otra, incrustándose en el magma y arrastrando a su vez, material del borde de la placa chocada, generándose así, una zona de pliegue e intrusión, conocido como subducción. (b.2) otras veces los materiales no presentan las características de corteza como el anterior y se componen de formas más livianas, lo que imposibilita que se inicie el proceso de subducción. Se forman así, bordes entre placas que van en dirección opuesta y que al momento de presionarse, se fracturan y pliegan, formando sistemas montañosos paralelos. A este tipo de encuentro se les denomina *bordes de colisión* y han producido sistemas cordilleranos como los Alpes, Los Andes, los Himalayas y otros. El último tipo de encuentro entre bordes de placas continentales y oceánicas, se conoce como (3) bordes de *fallas de transformación*, las que se caracterizan porque una placa se desliza por el borde y en contra de la otra. Un buen ejemplo de esta situación se ubica en la zona del estado de California en los Estados Unidos, en donde por varios cientos de kilómetros, la *falla de San Andrés*, es la frontera de interacción entre la placa continental de América del Norte y la placa del fondo del océano Pacífico.

Todos estos sistemas de encuentro entre placas y sus resultados: grandes fosas oceánicas, cadenas cordilleranas, montes de gran altura o fallas activas con actividad volcánica frecuente, producen importantes efectos en el clima

regional, los que a su vez y en el largo plazo, tendrán importantes efectos para el sistema viviente. En algunos casos se generan zonas de alta precipitación, o zonas desérticas, o

áreas de producción de agua de la acción volcánica, así como otros materiales y energía para formar y cambiar los materiales del planeta.

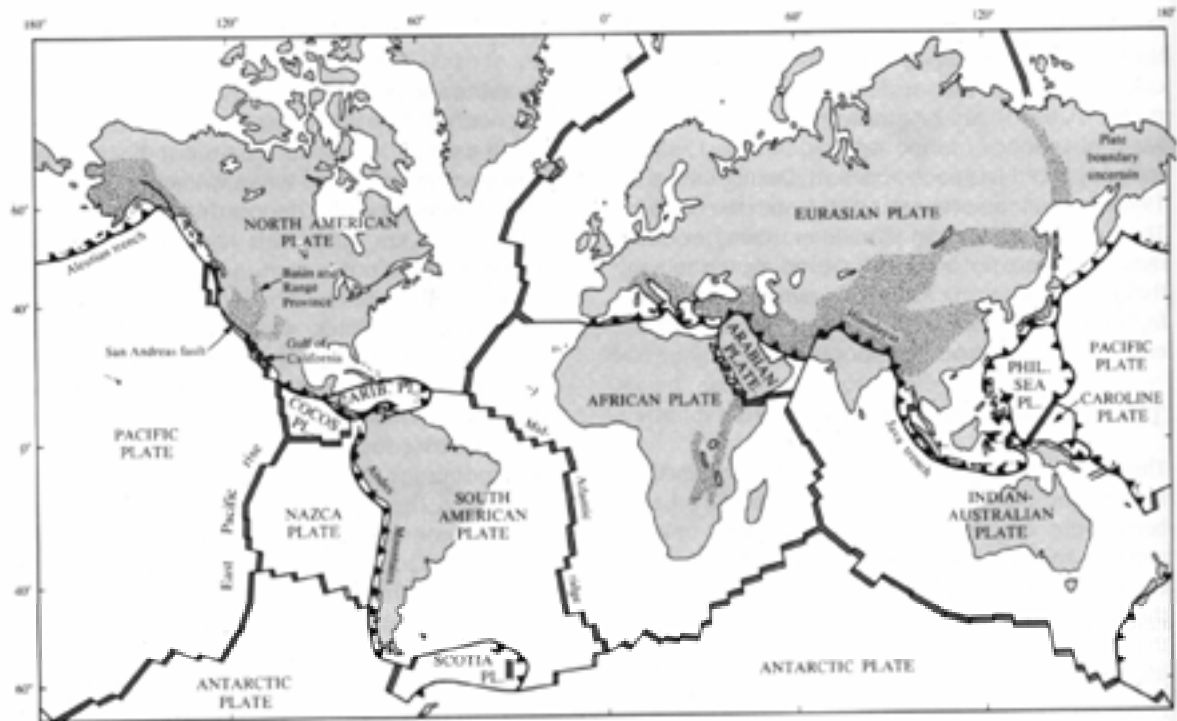


FIGURA II - 1. Mapa esquemático que muestra las placas de la litosfera. En líneas dobles se indican los bordes divergentes, líneas simples, los bordes de corrimiento o de transformación y líneas con marcas triangulares, los bordes convergentes. Las zonas ennegrecidas por puntos, representan zonas de deformación alejadas de los bordes convergentes.

### 1.3. Las rocas

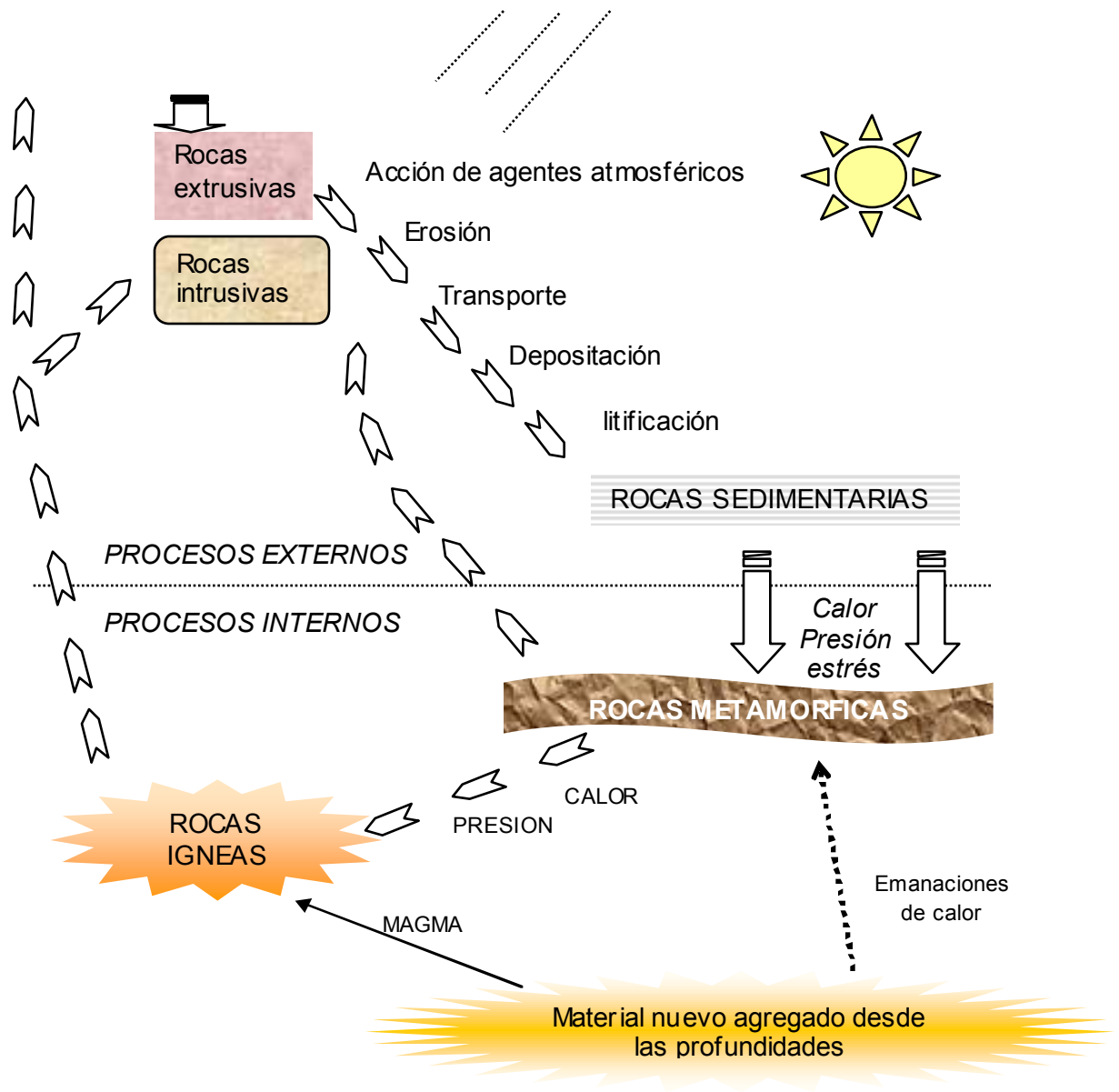
El Ciclo de las Rocas, considerado dentro de la forma de circulación de los materiales del planeta, como el más largo de todos, consiste en una serie de procesos que dan por resultado la formación de rocas y de suelos constituidos por materiales de distinta estructura.

El ciclo de las rocas está íntimamente vinculado y, por lo tanto es dependiente, de otros procesos de transformación que ocurren en el planeta, como la tectónica de placas, los ciclos hidrológicos y los ciclos biogeoquímicos, en que interviene directamente el sistema viviente (*bio..*). En general se puede mencionar que existen tres grandes grupos de rocas relacionadas en el proceso más grande de reciclaje del planeta: las rocas *ígneas*, las rocas *sedimentarias* y las rocas *metamórficas*.

El calor interno que posee el planeta y que es responsable de los ciclos tectónicos mencionados arriba, produce el tipo de roca ígnea en forma de material fundido, el que sube y cristaliza ya sea sobre la superficie o en espacios interiores de la corteza lítica. Así, materiales rocosos quedan expuestos inmediatamente de formados o surgen con el tiempo entre las transformaciones que produce la dinámica de la tectónica en la elevación de cordilleras o el rompimiento y giro de trozos de corteza. De esta forma, rocas de origen ígneo ubicadas en forma superficial o cercano a ella, son fracturadas por mecanismos físicos y/o químicos en procesos atmosféricos, generando material particulado o sedimento, el que es transportado por vientos, lluvias o desplazamientos de hielos (glaciares). Estos sedimentos,

acumulados en grandes llanuras marinas, eventualmente sometidos a altas presiones, son transformados en rocas sedimentarias, las que pueden ser transportadas por los procesos propios de la tectónica, a grandes profundidades de la corteza, en donde son afectadas por la gran presencia de calor, por presiones colosales o por otros procesos químicos de los fluidos activos, para generar rocas metamórficas. Estas rocas en contacto con suficiente energía calórica del magma, podrían fundirse e iniciar nuevamente el ciclo, a partir de su forma ígnea.

Este ciclo tiene un gran interés para la existencia de la vida, así como para la presencia y desarrollo de la humanidad, por cuanto es sobre estos sustratos donde construimos nuestras ciudades, nuestras carreteras e industrias y es desde aquí de donde obtenemos los minerales que se han hecho indispensables para la vida humana. El ciclo de las rocas concentra y dispersa materiales, un proceso extremadamente importante para la minería y el uso que hacemos de ellos. Tomamos los recursos minerales que encontramos concentrados en una de las formas del ciclo de las rocas, luego transformamos estos recursos a través de aplicaciones tecnológicas industriales y luego los regresamos al ciclo geológico en una forma distinta, normalmente combinados o diluidos, en donde son posteriormente dispersados por los procesos de la tierra. Sin embargo, una vez que los procesos de dispersión se han iniciado, estos recursos no volverán a estar nuevamente disponibles en forma concentrada, al menos en un período útil de tiempo (para el humano).



En Chile se encuentran áreas relativamente extensas dominadas por afloramientos de rocas ígneas intrusivas graníticas. En el Norte del país hay áreas dispersas de rocas graníticas en el desierto central, en la parte sur de la Primera Región y en la Segunda Región en general, mientras que por la Cordillera de la Costa se presentan superficies de extensiones variables desde el sector sur de Iquique, hasta el sur de Arauco. Este tipo de formación rocosa, se caracteriza en esta extensa zona costera por la presencia de grandes macizos graníticos que conforman la cordillera del mismo nombre. En la Cordillera de los Andes, aparecen afloramientos de rocas graníticas al sur de la región de Atacama.

Las rocas ígneas extrusivas, se les encuentra a lo largo de todo el país, particularmente en la banda cordillerana andina. La región Andina y Pre-andina de la zona norte del país (Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo) se caracterizan por la presencia de afloramientos de rocas volcánicas riolíticas o silíceas, producto éstas últimas de vulcanismo ácido (Ruiz, 1965). Estos afloramientos se encuentran en parte ocultos por rocas andesíticas-basálticas (intermedias a básicas), correspondiente a un período posterior de vulcanismo.

Las islas oceánicas: San Ambrosio, San Félix, Salas y Gómez, Isla de Pascua e islas del archipiélago de Juan Fernández, corresponden totalmente a formaciones de rocas volcánicas principalmente basálticas (Levi, 1965).

Las rocas sedimentarias se producen por depositación en agua de sedimentos de origen orgánico como

conchas de organismos marinos, o inorgánicos como minerales y fragmentos de rocas que se cementan, o bien por precipitaciones de sales en solución. Ejemplos de rocas sedimentarias son las *areniscas*, que se forman de arena, que es un producto de la intemperización de las rocas. La arena es reconsolidada mediante presión y la incorporación de material cementante. Este último puede estar representado por óxido de hierro, óxido de calcio u óxido de sílice, lo que es de gran importancia pues determina el tipo de arenisca en cuanto a su capacidad de intemperización y su fertilidad.

Otro tipo de rocas sedimentarias son las piedras calizas o calizas, que consisten principalmente en carbonato de calcio, que se ha depositado y consolidado con arcilla, arena y sílice.

Las rocas sedimentarias son de amplia distribución en el territorio, encontrándose amplias zonas de sedimentos continentales en todo el desierto, desde el límite con Perú hasta Copiapó, mezclada con rocas volcánicas, particularmente riolíticas; en el llano central mediterráneo desde el río Aconcagua hasta el sur de Chiloé y en la Cordillera de la Costa, particularmente en sus laderas orientales, en la zona central del país.

Por otro lado, algunas áreas de la costa en el norte y de la Cordillera de la Costa en gran parte del país, están constituidas fundamentalmente por rocas sedimentarias marinas. Las rocas metamórficas son aquellas que fueron ígneas o sedimentarias y que sufrieron un proceso secundario de compactación o recristalización por acción del calor o presión, o por la acción química (Wilde 1958). Las rocas metamórficas más comunes son los

*gneises*, que son rocas ígneas o sedimentarias, sometidas a presión y calor y que tienen aspecto y características similares a las rocas graníticas. Otro tipo son los *esquistos* que son rocas de textura fina o rocas foliadas de diferente composición. Las más corrientes son los *mica-esquistos*, que poseen gran proporción de mica y minerales ferromagnesianos. Las *pizarras metamórficas* son rocas densas, de grano fino, producidas por compresión de las pizarras sedimentarias.

La *cuarsita* es arenisca metamórfica, impregnada con sílice y muy resistente a la intemperización. El mármol es caliza metamórfica, también de gran resistencia a la intemperización.

## **1.4. Suelos**

### **1.4.1. Formación y Características de los suelos**

Los suelos se forman sobre la base de estos materiales de rocas intemperizadas y materia orgánica, por lo tanto, son el resultado de interacciones entre procesos geológicos (ciclos de las rocas e hidrológicos) y procesos biológicos.

El concepto intemperización, que hemos introducido en los párrafos anteriores, consiste en el rompimiento o meteorización de las rocas a través de procesos de tipo físico, químico y biológico, constituyéndose en el primer paso para la formación de los suelos, de tanta trascendencia para el establecimiento y mantención de la vida en el planeta.

Los materiales intemperizados de poca solubilidad, normalmente

permanecen en su lugar y pueden ser en algún momento modificados por procesos orgánicos para formar un suelo de tipo residual, como los suelos de los piedemonte, de color rojizo, que se pueden apreciar en algunas zonas.

Los materiales intemperizados que son transportados por agua, vientos o por hielos, como en el caso de los glaciares (ventisqueros) y luego son depositados en tierras llanas, son más tarde modificados por procesos orgánicos, conformando ahora suelos de tipo transportado. Hay zonas en donde ha ocurrido una depositación y luego transformación de suelos de origen glaciar, han resultado en suelos sumamente fértiles.

Desde el punto de vista ambiental, los *suelos* pueden ser definidos de dos maneras. Un científico, investigador de suelos puede definirlos como materiales sólidos de la tierra que han sido alterados por procesos químicos, físicos y orgánicos de tal forma, que pueden permitir la existencia de plantas con sus raíces introducidas en ellos. Por otro lado, un ingeniero, define el suelo como cualquier material sólido de la tierra, que puede ser removido sin tronaduras.

La formación de suelo se afecta por el clima, por la topografía, por los tipos de materiales sólidos que contiene, por su madurez o edad, y por la actividad biológica que ocurre en su interior. La mayoría de las diferencias que vemos en los suelos, se deben fundamentalmente a los efectos del clima y la topografía. El tipo de roca original, los procesos orgánicos y el tiempo transcurrido, tienen una importancia relativa secundaria para producir las diferencias de las que hablamos.

Los movimientos o migraciones de partículas en forma vertical u horizontal en la capa de suelos, normalmente produce un ordenamiento distintivo de capas superpuestas o perfil, dividiéndolo en *zonas* u *Horizontes*. En este conjunto de capas o zonas u *Horizontes*, de los suelos, se produce un fenómeno similar al conocido en la minería como *lixiviación*, el que en líneas muy generales consiste en el desplazamiento de compuestos solubles desde las capas superiores hacia las capas inferiores. Este proceso de lixiviación ocurre entre la capa o zona más superficial, denominada *Horizonte – A*, hacia la capa o zona intermedia, denominada como *Horizonte – B*, cuya característica está dada porque se inicia en su parte superficial, en la capa en donde se deposita y acumula el material lixiviado. Dependiendo del clima y otras variables, el Horizonte – B puede contener una capa endurecida o arcilla compacta, o bien materiales cementados de carbonatos de calcio, conocidos como *caliche*.

Los materiales del suelo también pueden desplazarse hacia las capas superiores, como respuesta a los incrementos naturales de los niveles freáticos, o a disturbios antropogénicos como el regadío intensivo o la remoción de vegetación lo que produce un incremento de los niveles de las aguas intersticiales. Cuando, por efectos del clima estos procesos se acompañan de tasas importantes de evaporación superficial del agua, las sales y otros compuestos disueltos migran hacia las capas superiores del suelo. En muchos casos, como se observa en el norte de Chile, la migración superficial de estos solutos es tan intensa (tanto como lo es la evaporación), que quedan depositados sobre la superficie,

formando capas salobres de muy poco o ningún valor agrícola.

Como una forma de facilitar el manejo de los suelos, especialmente por la potencialidad que éstos tienen de servir de sustrato para cultivos o crianza de animales, así como para la mantención de la capa vegetal que sustenta necesariamente a las biocenosis del planeta, se ha propuesto varias formas de clasificar y caracterizar los distintos tipos que existen. Se ha planteado una clasificación sistemática conocida como *la Taxonomía de los suelos*, informalmente mencionada como *la Séptima aproximación*, basada en las características físicas y químicas de los materiales que lo conforman. Esta taxonomía va desde los suelos que no muestran ningún desarrollo de horizontes (*Azonales*), corresponden a aluvios recientes, muy jóvenes, incluyendo suelos sintéticos, hasta los suelos constituidos por materia orgánica en su totalidad. Entre los extremos, se mencionan ocho divisiones de composiciones intermedias, que consideran el tipo de material que los conforman, sus coloraciones, los horizontes y sus dimensiones (profundidad).

Otra clasificación, es la conocida como *el Sistema Unificado de Clasificación de los suelos*, basado en las características granulométricas de sus componentes y la cantidad de materia orgánica. La utilidad de esta clasificación está orientada a servir propósitos ingenieriles del manejo de materiales.

En Chile se ha adoptado una clasificación fundamentada en la capacidad o aptitud del suelo frente al uso que a éste se le puede asignar. Este sistema corresponde a las *Clases*



*agrológicas del Soil Conservation Service* de los Estados Unidos de Norteamérica, el que contempla ocho clases de capacidad de uso. Esta capacidad de uso o aptitud frente al uso, se define como la adaptación que presentan los suelos frente a determinadas formas de utilización y son las siguientes:

**Clase I:** Corresponde a suelos de primera calidad, con muy pocas limitaciones al uso; aptos para todo tipo de cultivos sin aplicar métodos especiales. Son suelos planos, profundos, sin problemas de erosión, drenaje, inundación, etc.

**Clase II:** Son suelos de muy buena calidad, con escasas limitaciones al uso. De pendientes muy suaves, casi planos, con moderada susceptibilidad a la erosión, lo que reduce los tipos de cultivos posibles, requiriendo moderadas prácticas de conservación.

**Clase III:** Estos suelos presentan severas limitaciones, siendo necesarios métodos intensivos de laboreo, lo cual restringe la elección de cultivo o los posibilita aplicando técnicas especiales de conservación.

**Clase IV:** En esta categoría sólo es posible aplicar cultivos ocasionales, muy limitados y sólo con métodos intensivos de conservación. Son suelos de pendientes pronunciadas, sensibles a la erosión, con severas limitaciones de drenaje, disección, inundación, etc.

**Clase V:** Esta categoría es poco usada en nuestro país. Habitualmente estos suelos se asimilan a la clase IV, sin embargo se podría proponer que correspondiera a las áreas aptas para pastoreo, hasta el

contacto con las fuertes pendientes de la clase VI, incorporando en ésta severas limitaciones al pastoreo. Los

suelos clase V no son aptos para cultivos, en cambio no presentan limitaciones para la mantención de vegetación permanente, tales como masas arbóreas, vida silvestre y praderas.

**Clase VI:** Corresponde a suelos aptos para mantención de vegetación permanente, con severas limitaciones frente al pastoreo y la tala de árboles, lo cual es posible realizar solo con estricto control y sobre pendientes sin riesgo de erosión. No aptos para cultivos, con severas limitaciones de clima, pendiente, erosión, disección, profundidad, etc. El mal uso desencadena graves procesos de erosión con destrucción de las formas del relieve (disección) y destrucción de la vegetación.

**Clase VII:** Son suelos aptos sólo para mantención de vegetación permanente, debido a graves limitaciones semejantes a la clase anterior pero más agudas, el uso ideal es mantención de bosques, conservación de vida silvestre y áreas protegidas. Debido a las fuertes pendientes y grave riesgo de erosión, debería excluirse el uso forestal.

**Clase VIII:** Esta clase corresponde al dominio de las altas cumbres, sobre el límite de la vegetación, a las regiones áridas, sectores pantanosos, dunas, etc. Solo aptos para fines recreacionales, de conservación de vida silvestre, protección, abastecimiento de aguas, etc.

### 1.4.2. Degradación de los suelos

Al igual que otras variables ambientales, los suelos están sujetos a procesos de degradación, ya sea producidos por fenómenos naturales, o bien por efectos causados por la actividad humana. Estos procesos de degradación, se consideran dinámicos y frecuentemente interactúan entre ellos. La manifestación de estos procesos puede ser de distintas formas, sin embargo, en términos generales, se pueden mencionar los siguientes: Erosión, Exceso de sales, Degradación Química, Degradación Física y Degradación Biológica.

#### a) *Erosión:*

Es entendida como el desprendimiento, desplazamiento y acumulación del suelo en su totalidad o fragmentos de roca movidos de sus lugares originales por diversas fuentes, como por ejemplo: agua, viento, hielos o la misma gravedad del planeta. En general es un fenómeno que está ligado a la evolución de la corteza terrestre y puede ser alterado por la acción del hombre, a través de sus actividades. Dos grandes clases de erosión podrían ser consideradas. Erosión geológica o natural Erosión antrópica o acelerada.

Dentro de todos los agentes que generan estos efectos de erosión, los más importantes son el agua y el viento, por tal motivo, se puede entonces subdividir la erosión en:

*Erosión Hídrica:* Obviamente el agente erosivo es el agua, principalmente proveniente de precipitaciones o bien, irrigación. El agua como precipitación cae sobre terrenos desprovistos de vegetación, desprendiendo partículas y

arrastrándolas junto con los cauces o la escorrentía. Este material trasladado por el agua, es depositado en forma de sedimentos en las tierras bajas, una vez que la energía cinética de la corriente acuosa ha disminuido a niveles mínimos.

*Erosión Eólica:* Es la erosión causada por el viento, en lugares desprovistos de vegetación, la que cubre y protege al suelo del levantamiento de partículas por la fuerza de las masas de aire en movimiento. Este tipo de erosión es típico de las tierras áridas, incluyendo las riveras arenosas de lagos, mares y ríos. Es una característica común, en todas partes donde haya terrenos arenosos y predominancia de vientos fuertes.

#### b) *Exceso de sales*

Generalmente cuando se habla de salinidad, se hace referencia a la concentración excesiva de sales solubles en el suelo y/o las aguas, todo lo cual representa una amenaza, especialmente para la agricultura que requiere regadíos.

Las sales provienen principalmente de los minerales primarios constituyentes de los suelos y las rocas expuestas de la corteza terrestre. Es durante los procesos de intemperización química (hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación) cuando cationes y aniones constituyentes de las sales son liberados a la solución del suelo, adquiriendo así, su mayor solubilidad. Otra importante fuente de sales, la constituye el material parental originado en depósitos marinos que se asentaron durante períodos geológicos antiguos.

c) *Degradación Química*

La degradación química incluye aquellos procesos causantes de cambios adversos en las propiedades químicas de los suelos incluyéndose en esta categoría a procesos como la lixiviación de bases y la generación de toxicidades diferentes a las debidas al exceso de sal.

Lixiviación es el proceso de remoción de los materiales más solubles del suelo, por acción de las aguas que percolan a través de su perfil y, en consecuencia, es un proceso relacionado con el desarrollo de la aridez de los suelos.

La degradación química de los suelos puede expresarse por la manifestación de efectos tóxicos en las plantas o animales causados por la presencia de concentraciones anormalmente altas de ciertas sustancias ajenas al medio.

La presencia de desechos o residuos urbanos, industriales, radioactivos o petrolíferos, pueden derivar toxicidades de consecuencias importantes. El cieno o sedimento de las aguas servidas constituye un potencial contaminante cuando se aplica a tierras agrícolas sin las debidas precauciones y el manejo adecuado. Si bien es cierto representan un aporte de material orgánico con macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, también contiene virus, parásitos y altas concentraciones de sales solubles y metales pesados que pueden causar problemas. Es así como el cadmio, cinc, cromo, cobre, plomo, cobalto, níquel y mercurio, se acumulan por adsorción en suelos tratados con cieno de aguas servidas, que contienen este

tipo de elementos químicos y pueden permanecer allí por años.

d) *Degradación Física*

La degradación física incluye todos aquellos procesos que resultan en cambios adversos que pueden afectar la porosidad, permeabilidad, densidad aparente o de volumen y estabilidad estructural de los suelos.

Casi todos los procesos causantes de degradación física, tales como el apelmasamiento, encostramiento, reducción de la permeabilidad, compactación y degradación de la estructura del suelo, están muy relacionados entre sí en conjunto o individualmente, generan la reducción de la porosidad y deterioro de las relaciones aire – agua – suelo.

e) *Degradación Biológica*

La degradación biológica tiene relación con la pérdida de la materia orgánica resistente en el suelo (humus), por procesos de mineralización. En este ámbito, se debe diferenciar entre materia orgánica no resistente, formada por residuos orgánicos recientes (hojas, ramas, tallos en descomposición) y materia orgánica resistente o humificada.

Las principales consecuencias que trae consigo la pérdida de materia orgánica en los suelos, son: degradación física, pérdida de nutrientes, aumento de la escorrentía y la erosión.

La sustitución de la vegetación natural o vegetación permanente, provoca una profunda modificación de los ciclos biogeoquímicos (ver más adelante) de importantes compuestos orgánicos e inorgánicos del suelo. Por

otra parte, el laboreo sobre el suelo, también origina notorias modificaciones que se relacionan con la aceleración de los procesos de mineralización del humus.

Las tasas de descomposición del humus en el suelo son afectadas directamente por todos aquellos factores que alteran el metabolismo y crecimiento de los microorganismos que habitan el suelo. Entre las variables más importantes se cuenta: temperatura, pH, aireación, humedad, contenido de materia orgánica y prácticas de cultivo. La pérdida de materia orgánica modifica en forma negativa las características de los suelos, generando inestabilidad en la estructura, compactación de las capas superiores (capas arables en suelos agrícolas), encostramiento superficial (endurecimiento y formación de costras), disminución de la permeabilidad y porosidad, incluyendo endurecimiento eventual del subsuelo.

La mayoría de las veces en que se ha producido una degradación de tipo biológica en los suelos, especialmente agrícolas, han sido producido por el excesivo aprovechamiento o mal manejo de la tierra por el hombre.

### **1.5. El Agua**

El agua, formada por una simple combinación de dos elementos: hidrógeno y oxígeno, es sin dudas el gran adelanto que muestra nuestro planeta en el sentido de dar las condiciones para que el sistema viviente se haga presente e inicie el proceso de transformaciones que conocemos como evolución orgánica. Prácticamente todos los procesos de la vida ocurren en un ambiente acuático,

de tal forma que la existencia del agua es intrínsecamente necesaria y condicionante para la existencia de la vida.

Es un compuesto que fácilmente cambia de estado (sólido, líquido y gaseoso) dentro de las condiciones de presión y temperatura que se dan en forma normal en el planeta. Otras características del agua la hacen aparecer un tanto distintas a los otros compuestos naturales. Por ejemplo, el agua en su estado sólido (hielo) tiene una menor densidad que su fase líquida, mientras que para la mayoría de los otros compuestos, su fase sólida siempre es más densa que su fase líquida. Adicionalmente, el agua tiene una enorme capacidad calórica. El calor de vaporización del agua, inusualmente alto para un líquido (2257 J/g) tiene un importante efecto para el clima de la Tierra. La evaporación de las aguas superficiales absorbe aproximadamente el 30% de la energía solar que alcanza al planeta. Esta energía es liberada cuando el vapor de agua se condensa, generando eventualmente tormentas eléctricas y huracanes. Mediante este proceso, las aguas del planeta son impulsadas a circular (ver más adelante) y se colmatan los reservorios de agua dulce con sus efectos para la vida en los ambientes terrestres.

También esa excepcionalmente gran capacidad calórica de los cuerpos de agua, tiene un importante efecto de moderación de las temperaturas ambientes, al calentar los vientos fríos en invierno y al enfriar los vientos cálidos en verano. En esto, los océanos juegan un importante rol en todo el orbe, sin que esto signifique que en las tierras emergidas los lagos no produzcan también ese importante efecto.

El hecho que el hielo tenga una densidad inferior al agua líquida, implica que se formará en las capas superiores de mares y lagos, donde efectivamente ocurre el congelamiento. Este hecho tiene insospechadas implicancias, tanto para el clima, como para la vida de animales y plantas. Cuando se forma el hielo en los cuerpos de agua, se produce un aislamiento de las capas inferiores, evitando poner en contacto el resto de la columna de agua con los vientos fríos que circulan sobre su superficie, evitando de esta forma subsecuentes procesos de congelamiento del agua. En este sentido, incontables formas de organismos vivos son capaces de sobrevivir durante las estaciones frías del año. Imaginemos por un instante si el agua sólida fuera más densa que el agua líquida. Los cuerpos de agua se congelarían desde el fondo hasta la superficie y el efecto sobre los organismos sería desastroso. Por otro lado, la iniciación de la primavera para dar paso al verano sería mucho más tardía, por cuanto el hielo tardaría enormemente más tiempo en derretirse, afectando el clima del entorno.

Otra de las características del agua que la hace tan especial, son las propiedades solventes que ésta tiene. Es el solvente más importante, tanto desde el punto de vista biológico, como industrial. Por esta característica, el agua siempre contiene en forma normal, materiales disueltos, particularmente sustancias iónicas. Las aguas duras contienen ciertos iones metálicos como calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

El agua de los océanos del mundo ha sido lentamente liberada hacia la superficie a través de actividad volcánica, a través del tiempo geológico. Como se describió en el capítulo 1.2., la actual posición de los continentes y de las placas oceánicas, son el resultado de una permanente tectónica de placas del planeta.

La circulación de los océanos es producida por los vientos más frecuentes, en conjunto con la rotación del planeta. Las corrientes mayores de los océanos en el hemisferio norte rotan en el sentido del reloj, mientras en el hemisferio sur lo hacen en el sentido contrario. Esto se debe al hecho de que se produce un gran desplazamiento de masas de aguas hacia el oeste en la franja tropical, generando un giro hacia la derecha en el sector norte del hemisferio norte y sur del hemisferio sur. Posteriormente, cuando las aguas alcanzan las zonas tropicales y ecuatoriales, giran hacia la izquierda en el extremo sur del hemisferio norte y en el extremo norte del hemisferio sur, fenómeno conocido como el efecto de *Coriolis*, en honor al científico francés quién primero explicó el hecho.

Los vientos prevalentes del Este, hacen que el agua superficial del océano en las zonas tropicales y ecuatorial del Pacífico, tengan un desplazamiento general hacia el Oeste, transportando aguas más cálidas y precipitaciones hacia el sector occidental (Oeste) del océano, mientras en el borde contrario u oriental (Este), se producen amplias zonas de muy baja a nula precipitación. Ejemplo de esto lo constituyen las costas del norte de Chile y centro Sur de Perú.

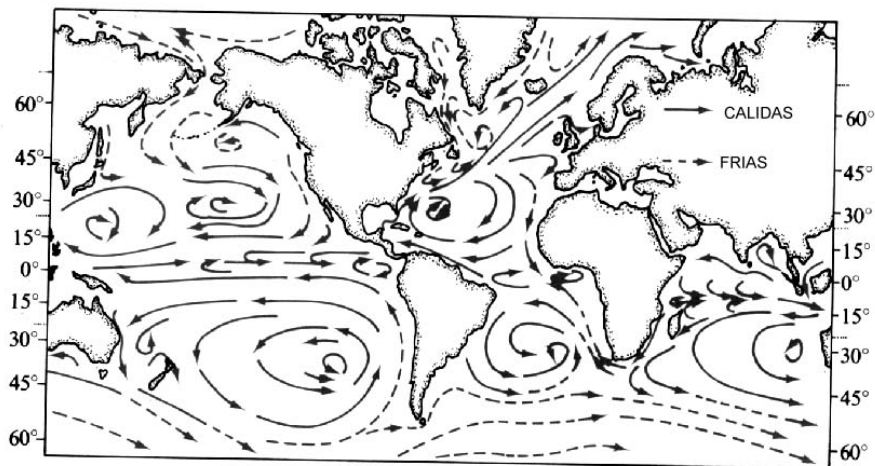


FIGURA II - 2 Circulación de las aguas superficiales del mar

Las aguas costeras de la zona chileno - peruana, tienen una importante característica que las hace bastante distintas a sistemas similares de otras latitudes. De coloración azul verdosas, un tanto turbias, son aguas de una extraordinaria importancia ecológica. Su coloración y turbidez es el resultado de procesos denominados *surgencias*, consistentes en afloramientos hacia la superficie, de masas de aguas profundas y frías, las que al subir arrastran sedimentos del fondo, ricos en compuestos fertilizantes (nutrientes) para los vegetales marinos (macro y microalgas). Este aporte de nutrientes hacia las capas superiores del mar, permite que exista una alta productividad de *fitoplancton* (microvegetales marinos, producción primaria), la que a su vez es la base para que una alta diversidad de organismos se alimenten directa o indirectamente de estos vegetales planctónicos.

De esta forma: animales pequeños (*zooplancton*), huevos y larvas de peces (*ictioplancton*), que entre otros forman parte del plancton, así como animales mayores, que nadan libremente (*necton*) y muchos de los que viven cercanos, enterrados o adosados al fondo (*bentos*), dependen directa o indirectamente de la producción primaria del mar, ya sea alimentándose directamente de los vegetales marinos, o de otros animales de alimentación vegetariana o carnívora (*herbívoros, consumidores primarios, secundarios...*). A diferencia de este panorama marino nuestro, las aguas azules y cristalinas, denotan mares pobres en nutrientes, pobres en fito y zooplancton y de baja productividad en general. No es al azar entonces, que esta zona es una de las pocas regiones del planeta en que existe un alto volumen de pesca de mar abierto (*pelágica*), constituida principalmente por la anchoveta, la sardina, el jurel, etc..., así como la pesca cercana a la

costa (*demersal*) o la captura de organismos del fondo (*bentónica*), los que sustentan a un importante sector productivo industrial y artesanal.

Los *sistemas de surgencias* enriquecen los ecosistemas marinos, transformándolos en los lugares obligados de reproducción de infinidad de organismos, los que confiados dejan aquí sus huevos, en la seguridad de que sus larvas encontrarán las mejores condiciones para alimentarse, desarrollarse y, más tarde, desplazarse hacia los lugares en que pasarán su adultez. Estos procesos de surgencias, son fenómenos fundamentalmente costeros. Adentrándonos hacia el océano, veremos las empobrecidas aguas azules y cristalinas, por lo que queda claro que la aparente riqueza sustentadora de la vida del mar, no es un fenómeno que se extiende por igual (homogéneo) por todos los rincones y superficies. La riqueza sustentadora está en las costas, especialmente en estos sistemas de surgencias, característicos de nuestra zona.

Este patrón dominante de circulación y surgencias del océano Pacífico, ha sido interrumpido a lo menos nueve veces en el transcurso de los últimos 100 años por el fenómeno por todos conocido como *El Niño*. También denominado en los últimos años como Oscilación Sureña de El Niño (El Niño Southern Oscillation, ENSO) o simplemente Fenómeno El Niño (FEN). Durante estos episodios, los vientos alisios se debilitan o incluso, se devuelven, la zona Este del océano Pacífico tropical se torna anómala e inusualmente más cálida y la corriente Ecuatorial, que usualmente fluye hacia el Oeste, se debilita o fluye en sentido contrario. Adicionalmente a la modificación del sistema de corrientes y

prácticamente la detención del sistema de afloramientos o surgencias, *El Niño* tiene consecuencias globales, como las observadas en nuestros noticieros de los eventos de 1982-83 y del último de éstos, en 1997-98, los que han producido enormes inundaciones en Europa, China, California, Norte de Perú, Bolivia, Argentina, todos lugares en donde las lluvias siempre fueron moderadas. Por otro lado, el mismo fenómeno ha producido desastrosos períodos de sequía en amplias zonas de Australia, África, India y en varios otros países del borde occidental del océano Pacífico, lugares que normalmente tienen un gran suministro de agua atmosférica.

Las aguas que caen sobre la tierra, especialmente en zona altas, alejadas de los bordes oceánicos, siguen varias rutas. Parte de ellas se evapora, otra parte corre cuesta abajo por los cauces de los ríos, mientras que una tercera parte se mueve debajo de la superficie del suelo y es transportada en forma subterránea. Los lugares en donde el agua se infiltra hacia el subsuelo, se conocen como *zonas de recarga*.

El agua que cae sobre la superficie e inicia su proceso de percolación, ingresa primero a una franja de suelo húmedo, conocido como la *Zona de Aireación*. Posteriormente, el líquido puede seguir su intrusión hacia la capa denominada como *Capa intermedia*, la que muy rara vez alcanza niveles de saturación. Desde aquí, el agua pasa a capas inferiores, en donde efectivamente ingresa al sistema subterráneo, alcanzando la *Zona de saturación*. La parte superior o superficie de esta zona se denomina *Nivel Freático*. La zona que queda inmediatamente por sobre el nivel freático, es una capa delgada, conocida

con el nombre de borde capilar, por donde al agua suele ser transportada hacia arriba, por la acción capilar, impulsada por la tensión superficial de ésta.

La tasa de movimiento de la agua subterránea depende de la permeabilidad del suelo o de las rocas y del gradiente hidráulico que exista en determinado lugar, el que está relacionado con la pendiente del nivel freático que presente el agua.

Las aguas subterráneas son importantes fuentes de agua útil para el consumo humano, para la industria y para el regadío de la agricultura. Un *acuífero* es una zona de material terrígeno, conteniendo tanta agua subterránea, como para permitir su bombeo a una tasa aprovechable. Los buenos acuíferos normalmente están conformados por gravilla no consolidada y arena, o areniscas, granito y rocas metamórficas con alta porosidad o grandes fracturas.

El bombeo de agua de un pozo puede producir un *cono de depresión* en el nivel freático, lo que ocurre cuando se bombea a una tasa mayor a la tasa de recuperación natural por escurrimiento del agua subterránea. De esta forma, un sobrebombeo de agua de un acuífero puede llevar los niveles freáticos a situaciones muy peligrosas. Posibles soluciones podrían darse disminuyendo la tasa de bombeo o hacer perforaciones más profundas para bombear desde pozos de mayor profundidad.

Las aguas subterráneas tienen un alto valor, especialmente para zonas en donde existe una gran presión por este recurso, debido a requerimientos industriales de importantes planes de desarrollo, como ocurre en la Primera y

Segunda Región de Chile y la minería. Este fenómeno de la presión por la obtención y uso del agua, se ha transformado en un problema mundial, de tal forma que la protección de los recursos acuíferos subterráneos es uno de los principales problemas ambientales de las últimas dos décadas (1980 – 1990).

La contaminación de las aguas subterráneas, lo que implica la pérdida del recurso frente a las necesidades planteadas, puede provenir de varias fuentes. Las causas más comunes observadas en los últimos años son las siguientes:

Disposición impropia de basuras peligrosas

Infiltración por residuos de la minería

Infiltraciones por residuos de otras actividades como agricultura e industrias

Infiltraciones por descargas de aguas servidas

Derrames accidentales de líquidos tóxicos

Se requiere desarrollar y aplicar métodos cada vez más eficientes para monitorear la zona de aireación, ya que si los contaminantes alcanzan las napas subterráneas, la solución de los problemas se hacen muy dificultosos y sobretodo, muy caros.

Las zonas desérticas normalmente para el falto de conocimiento, son concebidas como áreas sin vida y totalmente vacías, por lo que podrían ser receptoras de cualquier residuo, por peligroso que éste sea. Sin embargo, a la luz de lo descrito anteriormente, importantes



cursos de agua fluyen por el subsuelo, los que no siempre tienen agua suficiente como para ser bombeada a una tasa útil para el hombre. No obstante, éstos cuerpos de agua van lentamente bajando hacia zonas bajas y, sea directamente o después de colmatar bolsones geológicos, estas aguas son descargadas en el borde costero en forma superficial o submarina. El peligro, entonces de disponer residuos industriales o sustancias peligrosas en los desiertos, contrariamente a lo concebido erróneamente, puede tener resultados catastróficos, cuyos efectos se podrán percibir en lugares muy alejados de las fuentes de contaminación (el mar) o en tiempos posteriores a las descargas (contaminación de aguas fósiles).

Con relación a los cursos de aguas superficiales, se puede mencionar la existencia de dos tipos: a) los cursos de agua *Efluentes*, los que se caracterizan por ser permanentes, aunque no siempre fluyan en forma superficial y en las estaciones secas se mantienen mediante la infiltración subterránea al interior de su propia cuenca o canal. B) los cursos de agua *influentes*, los que solo fluyen por sobre el nivel freático, ocurriendo en directa relación con las precipitaciones. Las aguas de un curso influente se infiltran hacia los niveles freáticos y forman verdaderas lomas de recarga, aguas que por su velocidad de drenaje reducida, generan áreas de niveles freáticos elevados con relación a los niveles que tiene la zona de recarga. Estos cursos influentes, solo fluyen en períodos fijos dentro del año.

Diversos tipos de cursos de aguas y los ríos, conforman los sistemas erosivos, de transporte y depositación de sedimentos. Las cantidades y tipos de sedimentos que

mueven las aguas dependen de la velocidad y los volúmenes que ésta mueve. Debido al delicado balance que existe entre la los flujos de agua y los sedimentos que ésta acarrea, cualquier cambio en la tasa de ingreso de sedimentos que ingresa al torrente, provocará importantes cambio en la forma de las cuencas y canales de circulación, especialmente en su pendiente y la forma seccional por donde el agua fluye, todo lo cual impondrá cambios en la velocidad que adopte el fluido. Consecuentemente, cambios en la velocidad implican a su vez incrementos o disminución de la cantidad de sedimentos arrastrados. De esta forma, a no mediar de otras alteraciones de los cursos de aguas los cambios de arrastre de sedimentos implicarán modificaciones en la forma de las cuencas y canales, lo que producirá la recuperación del balance del sistema.

El manejo del recurso agua, tal como se expresó anteriormente, constituye el gran problema ambiental de los últimos tiempos. Al parecer ha habido un errado concepto de sus características y de la forma cómo ésta es dispersada en sobre las capas continentales. Irremediamente parece ser que la misma supervivencia del hombre y sus expectativas de mejorar su calidad de vida, dependen en primer término de la cantidad y calidad de las aguas.

Por lo expuesto hasta aquí, no tan solo el hombre y su tecnología requieren básicamente el líquido, sino también el medio ambiente físico está especialmente definido y condicionado por la abundancia o escasez y por las propiedades físicas y químicas del agua

Es importante, por tanto mantener una estrecha y seria

vigilancia de sus variables, a través de planes de monitoreo permanente: Para estos fines, se enumeran a continuación las diferentes formas en que se puede presentar este recurso en un área dada:

*Acuífero.* Cualquier formación geológica subterránea capaz de contener y transmitir agua en grandes cantidades.

*Agua subterránea:* Agua dentro de la tierra que abastece manantiales, pozos y cursos de agua. Específicamente, agua en la zona de saturación, donde llena las cavidades del suelo y de las rocas.

*Arroyo:* Corriente natural de agua con caudal discontinuo en función de las estaciones. Anchura media menor de 5 metros.

*Canal:* Curso artificial de agua (acequia).

*Cascada :* Despeñadero natural de agua.

*Embalse :* Reservorio artificial donde se recogen las aguas de uno o varios cursos de agua.

*Estuario :* Tramo final de un río donde las aguas del mar se ven "apreciablemente" diluidas por el río.

*Fuente artificial:* Artificio por donde se hace salir el agua trayéndola encañada desde manantiales, depósitos o cursos de agua.

*Fuente natural:* Zonas de afloramiento superficial de las aguas de forma intermitente o con un caudal insuficiente para formar una corriente de agua.

*Glaciar.* Río de hielo.

*Lago:* Masa permanente de agua depositada naturalmente en hondonadas del terreno, con comunicación al mar o sin ella. Superficie mayor de una hectárea.

*Laguna:* Depósito natural de aguas de menores dimensiones que el lago. Superficie menor de 1 hectárea.

*Manantial:* Zona donde las aguas afloran a la superficie.

*Nacimiento de aguas:* Fuente natural donde el agua brota en cantidad suficiente para formar una corriente de agua.

*Nivel freático:* cota de la zona de saturación.

*Pozo:* Hoyo hecho en la tierra que rebasa el nivel freático, por donde se hace salir el agua natural o artificialmente.

*Rambla:* Lecho natural de las aguas pluviales cuando caen copiosamente.

*Río :* Corriente natural de agua con caudal continuo a lo largo de todas las estaciones. Anchura media mayor de 5 metros.

*Torrente:* Corriente natural de agua en pendientes fuertes y con caudales muy variables.

*Zonas húmedas (humedales):* Terrenos que se inundan con las aguas de los ríos o del mar (marismas), el ascenso de la napa freática o la baja permeabilidad del terreno (turberas...).

## La Calidad del Agua

Para los programas de monitoreo, tan importante es la calidad del agua como su cantidad. Esta última interesa desde distintos puntos de vista: a) Utilización fuera del lugar donde se encuentra (para agua potable, usos domésticos, urbanos e industriales, riego). b) Utilización del curso o masa (actividades recreativas: baño, boga, pesca, etc.). c) Como medio acuático que acoge especies animales y vegetales).

La calidad del agua no es pues un término absoluto sino que dice relación con el uso o actividad a que se destina. No obstante, la calidad del agua, genéricamente considerada, se ve afectada principalmente por las actividades humanas y al mismo tiempo afecta el desarrollo de otras.

## La Contaminación

El agua no se encuentra, naturalmente, en estado puro y siempre contiene cierto número y cantidad de sustancias que provienen de diversas fuentes: la precipitación su propia acción erosiva, el viento, su contacto con la atmósfera. Así en aguas que no han recibido vertidos artificiales se encuentran sólidos o coloides en suspensión (que afectan a la transparencia) sólidos disueltos (que se reflejan en su alcalinidad, valor del pH, dureza, conductividad), oxígeno disuelto (que influye decisivamente en la vida acuática), etc., que constituyen los caracteres y cualidades del agua.

Los vertidos artificiales alteran el carácter y calidad del agua introduciendo además otras sustancias no presentes, como tóxicos, detergentes y otros, que modifican su calidad natural. Los efectos de la

adición de materia o de energía a este medio, por sobre los niveles tolerables por la biota o que ponen en riesgo la salud humana, se reconoce como contaminación. A continuación se describen en forma breve algunos de los efectos de esa adición.

El aumento de sólidos en suspensión disminuye la transparencia (aumenta la turbidez); las plantas acuáticas disponen de menos luz y, en consecuencia, se reduce el oxígeno disuelto y el alimento de la fauna acuática. Si los sólidos sedimentan puede cubrir el lecho del río y se afectará la microflora y animales bentónicos (del fondo). Los animales acuáticos poseen complicados y delicados sistemas de intercambio gaseoso, básicamente formado por filamentos que aumentan las superficies de contacto debido a la normal baja disponibilidad de oxígeno en el agua. La presencia de material particulado es retenido en estas finas estructuras interfiriendo fatalmente en el proceso de respiración.

Los líquidos no miscibles (grasas, aceites) afectan la transparencia en forma similar a como lo hacen los sólidos. Son en general, más ligeros que el agua y pueden formar una película sumamente delgada sobre la superficie, de modo que cantidades pequeñas pueden contaminar grandes extensiones en las superficies de ríos, lagos y mares. Al adherirse a la vegetación daña los márgenes del curso de agua, un aspecto poco grato a la vista. No obstante, lo más relevante de este tipo de contaminación, es que impiden un intercambio de oxígeno agua-atmósfera, produciendo hipoxia en lugares en que el oxígeno es vital para la respiración animal. Adicionalmente, como grasas y aceites son fuente

energética para bacterias y hongos, su proliferación consume el poco oxígeno disponible, empeorando la situación ambiental.

La aireación del agua que contiene detergentes, al caer por un pequeño salto o al aumentar la turbulencia por cualquier causa, se traduce en la formación de espumas, una de las formas más llamativas de contaminación física con grandes implicancias químicas y biológicas.

Los compuestos inorgánicos disueltos pueden alterar la calidad del agua de muy diversas maneras. Pueden ser tóxicos en sí mismos: muchas sales de metales pesados son letales para los organismos acuáticos, incluso en concentraciones muy bajas. Otras veces pueden serlo al combinarse entre sí o con sustancias presentes en el agua. En todo caso al alterar la diferencia en concentración de sales disueltas entre el agua y los organismos, pueden causar la muerte de éstos. La cifra de 1.000 p.p.m. de sales disueltas constituye el umbral de supervivencia para muchas plantas y animales. El aumento de salinidad resulta además perjudicial para usos industriales, agrícolas y domésticos. La adición de nutrientes (nitrógeno, fósforo, en particular) se refleja con cierta rapidez en el aumento de las poblaciones de algas, fenómeno conocido como eutroficación, de importantes efectos negativos para la calidad de las aguas y la sobrevivencia de la biota en general.

La biodegradación de compuestos orgánicos disueltos implica un consumo de oxígeno que puede afectar seriamente al ecosistema acuático. Los contaminantes orgánicos también pueden ser tóxicos (muchos de los pesticidas y herbicidas, se fabrican

precisamente para serlo) y suelen ser además bastante estables.

Los vertidos de aguas fecales contienen bacterias patógenas y otros organismos que pueden ser nocivos a las personas y a los animales.

Las descargas de calor, que se producen principalmente al verter aguas de refrigeración, influyen en la solubilidad del oxígeno e inciden sobre el metabolismo de los organismos acuáticos, para los que pueden llegar a ser letales. Incrementan el metabolismo de microorganismos, los que colaboran aún más con la ausencia de oxígeno y la producción de nutrientes, acelerando la eutroficación del sistema en general.

A la vista de estos efectos, se dice que los contenidos de ciertas sustancias constituyen los parámetros de la calidad del agua que deben ser monitoreados. El monitoreo entonces, trata de calibrar la modificación inducida a partir de un punto de referencia que puede ser relativo (el estado natural) o absoluto (normativa de calidad).

Los parámetros de la calidad del agua más frecuentemente admitidos y utilizados y al mismo tiempo relevante para los estudios de monitoreo son:

Oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno (DBO).-

Sólidos disueltos y en suspensión.

Compuestos de nitrógeno, fósforo, azufre y cloro.

pH

Dureza.

Turbidez.

Elementos tóxicos.

Elementos patógenos

En relación con los usos, los parámetros más típicos para monitorear son:

Uso doméstico: turbidez, sólidos disueltos, tóxicos, coliformes.

Uso industrial: sólidos disueltos y en suspensión.

Uso para Riego: sólidos disueltos, contenido en sodio.

Uso para la recreación: turbidez, tóxicos, coliformes.

Vida acuática: oxígeno disuelto, compuestos organoclorados.

Los métodos de determinación de la calidad del agua suelen basarse en la utilización conjunta de los valores de estos parámetros. El tipo de información que proporcionan es ciertamente valiosa, pero tiene la limitación de referirse sólo al momento de la toma de muestras, sin indicar nada acerca del estado anterior de las aguas ni de su capacidad de autodepuración.

Los métodos de muestreo continuo que se incluyen en un programa de monitoreo hacen desaparecer esa restricción.

Esta limitación hace que se esté prestando mucha atención a los

indicadores biológicos, como la presencia de ciertas especies (taxones, más generalmente) que se comportan como indicadores de los niveles de contaminación así como a las variaciones de la estructura de la comunidad biótica, ocasionadas por la alteración del medio acuático.

La justificación de su empleo proviene de ser las comunidades biológicas un reflejo fiel de las condiciones físico-químicas. La información que proporcionan permite conocer el estado de las aguas anterior al momento del muestreo, porque los organismos necesitan algún tiempo para desarrollarse y también, predecir la evolución de la comunidad en el tiempo y en el espacio. Su contrapartida reside en la exigencia de conocimientos taxonómicos.

Otro de los mecanismos que día a día cobra mayor relevancia para el monitoreo de los ambientes acuáticos, es la metodología de trasplante de organismos, como por ejemplo moluscos bivalvos, a lugares de vigilancia ambiental. Mediante este método, se logra monitorear en forma comparativa, incluyendo zonas de control, los efectos acumulativos que tiene el ensamble de matrices ambientales que se producen en cada lugar de estudio.

Sin lugar a dudas, es el agua el recurso de la vida en el planeta, por lo que la atención que deba prestarse a ella, siempre será de gran utilidad.

## 2.0. Ciclos de la materia a través de los componentes vivos y no vivos del planeta (*Ciclos Biogeoquímicos*)

### 2.1. Ciclo del carbono.

Al igual que un círculo, un ciclo no tiene comienzo ni final; sin embargo, es conveniente empezar la descripción del ciclo del carbono, con el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>, llamado también dióxido de carbono), que se encuentra en el aire o disuelto en el agua.

Mediante el proceso de la fotosíntesis, el anhídrido carbónico se usa en la formación de un gran número de compuestos que pueden combinarse en muchas formas para constituir las sustancias de los organismos. Estos compuestos orgánicos pasan de los productores a los consumidores. Durante el proceso de la fotosíntesis la energía se incorpora a tales compuestos. Cuando los productores y consumidores usan esta energía, el anhídrido carbónico puede ser devuelto al aire o al agua, según el lugar donde el organismo habite. Sin embargo, mientras permanezca alguna energía utilizable, siempre quedarán compuestos del carbono que tengan más átomos que el anhídrido carbónico

Tanto los productores como los consumidores eliminan desechos que tengan carbono. Ambos deben morir y

sus restos permanecerán como una acumulación de compuestos del carbono. Un grupo especial de consumidores, que recibe el nombre de descomponedores, tiene como función completar el proceso de liberación del carbono de los desechos y de los cadáveres, en forma de anhídrido carbónico. La mayoría de estos consumidores finales, los descomponedores, son microorganismos, aun cuando algunos son visibles a simple vista, como los hongos.

Algunas veces la acción realizada por los descomponedores es muy lenta y puede tomar millones de años para completarse; tal es el caso de las grandes masas de compuestos de carbono que se han acumulado en la tierra en forma de hulla, carbón y petróleo.

Algunos organismos usan el carbono para formar conchas que no son atacadas por los descomponedores sino que se depositan en forma de rocas. Sin embargo, la principal ruta del ciclo del carbono va del aire de la tierra (atmósfera) o de las aguas (hidrosfera), hacia los seres vivos y viceversa.

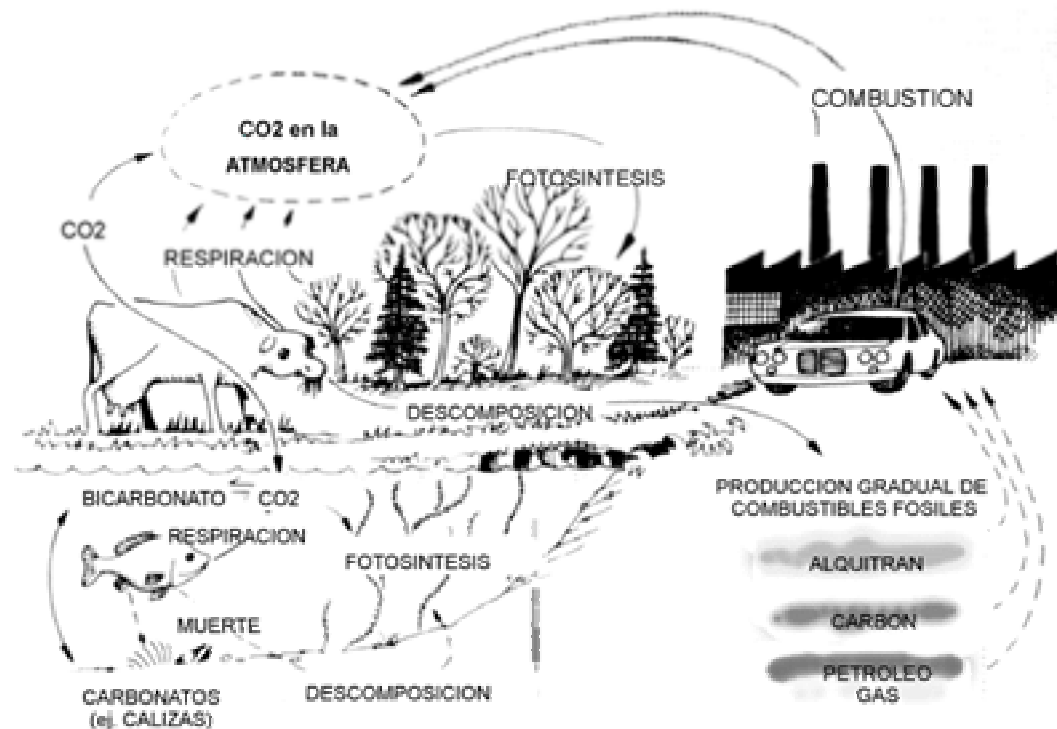


FIGURA II-3. Esquema que ilustra el Ciclo del Carbono

## 2.2. El ciclo del agua.

La vida, tal como la conocemos, no puede existir sin el agua (H<sub>2</sub>O), y depende, por tanto, de los ciclos de esta sustancia. La mayoría de las veces el agua desciende de la atmósfera en forma de lluvia o de nieve. Cae sobre los mares o sobre la tierra, iniciando en este último caso un camino descendente desde las montañas a través de los ríos, lagos y corrientes subterráneas, hasta el océano. Naturalmente, parte de esta agua regresa a la atmósfera por

evaporación. Existe, pues, un ciclo muy amplio del movimiento del agua desde la atmósfera hasta la tierra y los mares, y desde éstos a la atmósfera.

Los organismos terrestres pueden tomar el agua en varios puntos de este ciclo: los animales, cuando la beben y, las plantas, cuando la absorben del suelo. En todos los organismos, parte del agua se incorpora químicamente a las sustancias vivas y luego reaparece cuando esas sustancias se descomponen. Además, todos los

organismos contienen una parte de agua en la que se llevan a cabo la gran mayoría de los procesos vitales. Así, el agua está involucrada tanto en la estructura como en las actividades de los seres vivos.

Tanto los animales como las plantas terrestres devuelven el agua a la atmósfera: extensamente a través de las hojas (transpiración), en las plantas, y mediante la respiración, en los animales. En estos, es devuelta en mayor proporción todavía por medio de la expulsión de las heces y de la orina. Finalmente, toda el agua que fue absorbida por las raíces o ingerida como bebida, retorna a la atmósfera.

### **2.3. El ciclo del calcio.**

Los primeros cuatro elementos (oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno), siguen ciclos que están relacionados con la atmósfera. El resto de los elementos se encuentran en la capa rocosa de la tierra (la litosfera), o disueltos en las aguas. Todos ellos siguen ciclos similares y veremos el del calcio como ejemplo.

Los compuestos del calcio son muy comunes en las rocas. La mayoría de ellos son solubles en el agua y por lo tanto se les puede encontrar en medios acuáticos. Los organismos

adquieren dichos compuestos al ingerir agua. Muchas plantas y animales marinos poseen exoesqueletos constituidos por calcio. Cuando estos organismos mueren, sus esqueletos se acumulan en el fondo del océano. En el curso de miles de millones de años, estos residuos pueden llegar a compactarse fuertemente por efecto de los procesos geológicos formándose rocas (piedra caliza y mármol). Estas rocas pueden elevarse y formar colinas y montañas.

Los compuestos del calcio de las rocas, disueltos nuevamente por la acción incesante del agua, se desplazan a lo largo de las corrientes y ríos hacia el océano. Los organismos pueden tomarlo en cualquier punto de este ciclo. Las plantas pueden extraerlo del suelo mediante las raíces e incorporarlo a sus partes vivas. Cuando la planta muere, los descomponedores comienzan su trabajo, dejando libre los elementos minerales. O bien el calcio puede pasar a un consumidor de primer orden y después a otro de segundo orden. En cualquiera de estas etapas puede retornar al agua o al suelo por acción de los descomponedores. El destino final es el fondo del océano del cual vuelve a surgir en forma de rocas, a través de los largos períodos de los cambios geológicos.



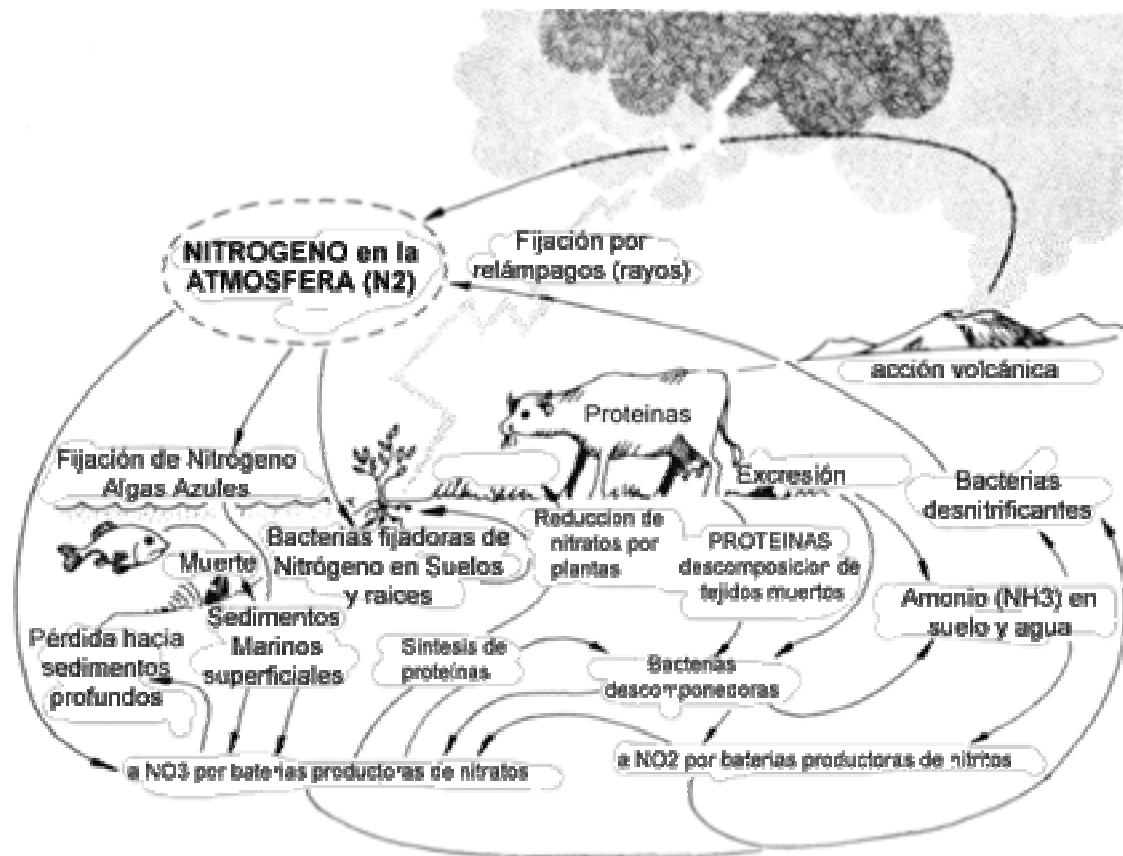


FIGURA II-4.- Esquema que muestra los principales componentes del ciclo del nitrógeno

#### 2.4. Ciclo del Nitrógeno

Uno de los más importantes y a la vez más complejos ciclos, es también uno de los que causan los mayores problemas al hombre. El Nitrógeno, es uno de los seis "grandes" elementos del planeta, cuya principal importancia para la vida radica en el hecho de ser parte esencial de los aminoácidos, los que a su vez, conforman la estructura de las proteínas. El sistema viviente es el gran responsable de la forma de existencia del nitrógeno en la atmósfera, manteniéndolo en la forma

molecular o libre (N<sub>2</sub>) en vez de presentarse como amoníaco (NH<sub>3</sub>) o como óxidos nitrosos, como ocurriría en un planeta sin vida.

El Nitrógeno existe en la atmósfera bajo siete formas distintas: a) Nitrógeno molecular o libre (N<sub>2</sub>), b) óxidos: óxido Nitroso, óxido Nítrico y dióxido de Nitrógeno (N<sub>2</sub>O, NO y NO<sub>2</sub>, respectivamente) y como compuestos hidrogenados: iónico, amoníaco y ácido Nitroso (NH, NH<sub>3</sub> y HNO<sub>2</sub>, respectivamente).

A diferencia de otros elementos de la atmósfera, como el Hidrógeno, el Oxígeno y el Carbono, afortunadamente el Nitrógeno es comparativamente menos reactivo y tiende a mantenerse en compuestos inorgánicos pequeños. Se requiere una considerable cantidad de energía, para adicionar o conectar una molécula de nitrógeno a otros compuestos. De esta forma, muchos organismos no son capaces de utilizar directamente el nitrógeno molecular. Para ser incorporado o utilizado por el sistema viviente, debe ser transformado a amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), ión Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), o Aminoácidos. Lo más interesante, es que solo hay dos caminos para que esta transformación ocurra en nuestro planeta: a) por descargas eléctricas de la atmósfera y, b) por medio del sistema viviente. Como se podrá inferir inmediatamente, lejos el mecanismo de transformación más frecuente es el sistema viviente.

Uno de los aspectos de mayor importancia en los procesos de transformación del nitrógeno molecular hacia las diferentes formas nitrogenadas como amoníaco, nitratos y otras transformaciones de nitrógenos inorgánicos, es que éstas solo se producen con la participación de cianobacterias, del tipo *Procariotas*, es decir, de un grupo de organismos muy primitivos, cuya característica principal, es que no poseen membrana nuclear (material genético disperso en el protoplasma). Solamente estos organismos poseen los compuestos precisos para ejecutar algunas reacciones químicas, sin las cuales el resto de la vida no hubiese podido ocurrir. Tanto es así, que muchos organismos mayores, del tipo de los *Eucariotes* (con núcleos bien definidos y envueltos en su membrana) han desarrollado evolutivamente relaciones

simbióticas con los primeros (microorganismos que son capaces de transformar compuestos con nitrógeno). Este fenómeno incluye a un sinnúmero de plantas con flores, del tipo de las leguminosas, las que poseen nódulos con bacterias fijadoras de nitrógeno en sus raíces y cuya misión es fijar el nitrógeno libre o molecular y transformarlo en nitratos o, aprovechar la descomposición de las proteínas a aminoácidos, transformarlos a amoníaco, de aquí a nitritos y desde allí a nitratos, como la forma más posible de utilizar en forma directa por los vegetales. Es en esta secuencia en donde se producen los más interesantes fenómenos de simbiosis o mutualismos. Se incluyen en esta secuencia de mutuo beneficio entre bacterias - vegetales y bacterias - animales, a las interacciones entre plantas - bacterias y mamíferos rumiantes de las sabanas africanas. Ciclos de aporte y beneficios de compuestos nitrogenados, permiten una mayor eficiencia en el uso de este recurso mineral, tan importante para la construcción y funcionamiento de los seres vivos. Entre todos estos procesos, el amoníaco es liberado hacia la atmósfera por descomposición bacteriana. Este compuesto es muy soluble en agua de forma tal que retorna a los océanos y a la tierra (mediante la lluvia), como sales de amonio (sulfato y nitrato de amonio).

Si, tal como se ha dicho y se observa en la Figura II- 4, las bacterias solo fijaran nitrógeno, con el pasar del tiempo, éste gas ya se hubiera reducido notablemente o desaparecido de la atmósfera. Sin embargo esto no ocurre, debido a que las bacterias también desarrollan procesos de desnitrificación, los que terminan en nitrógeno gaseoso liberado hacia la atmósfera. Por otro lado, el nitrógeno

también ingresa al océano mediante la fijación de Nitrógeno atmosférico por cianobacterias planctónicas. Otra de las vías de regreso al océano el nitrógeno, es a través de los ríos y sus descargas en el mar, sean éstas superficiales o subterráneas.

Si comparamos el nitrógeno con el fósforo, encontraremos que las principales diferencias son que el primero manifiesta una fase gaseosa mucho más abundante, en ella es tremendamente móvil y posee una alta tasa de ciclicidad (se recicla rápido). Por otro lado, ambos elementos comparten su gran importancia como fertilizantes para la agricultura y además, constituyen los principales contaminantes de aguas subterráneas.

Hasta antes de la primera guerra mundial, en todo el planeta se utilizaban fuentes naturales de nitrógeno para dar mayor fertilidad a las tierras cultivables. Nosotros conocemos de cerca este hecho pues se liga a la historia productiva del Norte de Chile, con relación a la gran minería del salitre. Esta actividad minero-productiva floreció hacia los primeros años del presente siglo. Sin embargo, durante la primera guerra, científicos alemanes descubrieron que mediante descargas eléctricas era posible fijar nitrógeno en forma industrial, la que hasta nuestros días representa un importante mecanismo productivo y mercantil de fertilizantes para la agricultura, en reemplazo de los fertilizantes naturales.

Los óxidos de nitrógeno se forman en reacciones químicas de altas temperaturas, cuando se encuentran átomos de nitrógeno y oxígeno. Estos compuestos no tan solo son uno de los peores contaminantes, sino que también son los más difíciles

de eliminar, por cuanto se forman en las explosiones de los cilindros de los vehículos motorizados, cuando utilizan simple aire atmosférico, sin tratar. De esta forma, se puede concluir que los compuestos que contienen nitrógeno son, por un lado una bendición, pero por otro, son una maldición. Se necesitan para dar estructuras y funcionamiento a todos los organismos vivos y, además, algunas de sus formas pueden ser nocivas para ellos mismos.

## **2.5. Ciclos y radiactividad.**

Cuando los organismos toman los elementos del medio (ambiente), los concentran a veces en sus cuerpos. En algunos casos es como si tomaran toda la cantidad disponible de ciertas sustancias y la "depositaran en un banco". Como resultado, esa sustancia puede estar más concentrada en el organismo que en el ambiente.

Si la sustancia es radiactiva las consecuencias pueden ser serias. Aunque sólo una pequeña cantidad de tales sustancias ha existido siempre en la tierra, recientemente las actividades del hombre, como las explosiones atómicas y la producción de fuerza nuclear han aumentado la radiactividad en el medio ambiente. Cantidades pequeñas de algunos materiales radiactivos pueden liberarse sin mayores perjuicios. Pero cuando, mediante los procesos de almacenamiento los organismos "acumulan" el material en niveles peligrosos de radiactividad, ésta puede penetrar hasta las partes más íntimas de los organismos.

El estroncio, por ejemplo, es semejante al calcio en sus

propiedades químicas. Si la forma radiactiva, estroncio 90, penetra a un organismo animal, se concentra casi toda en los huesos y permanece allí indefinidamente emitiendo radiaciones capaces de matar los tejidos o de producir cáncer.

El ciclo del estroncio, como el del calcio, puede ir de las plantas verdes al ganado y de la leche de las vacas al esqueleto humano. No todo el estroncio 90 que llega a la vaca va a su leche; gran parte de él permanece en los huesos. En consecuencia, determinar qué cantidad se deposita en los huesos de la vaca y cuánta va a su leche, es de mucha importancia práctica mientras el hombre continúe liberando sustancias radiactivas al ambiente.

### **2.6. Bioacumulación y Biomagnificación**

Tal como se mencionó en el tema anterior, los organismos son capaces de acumular compuestos o

elementos por varias vías y por varias razones. Sucede con metales pesados, los que sobre concentraciones aceptables para los organismos, producen serias malfunciones en diferentes procesos fisiológicos. Una forma de evitar o a lo menos reducir los efectos de estos metales en el interior de los cuerpos, consiste en neutralizar de alguna forma su acción fisiológica y ante la incapacidad de biodegradarlos, se acumulan en algunos órganos o tejidos del cuerpo (ej. Hígado, tejido graso, huesos, etc.). Este proceso es el que se denomina *bioacumulación*.

Una prolongada exposición de organismos a concentraciones sobre la aceptable para las capacidades de aprovechamiento o degradación metabólicas, producirá en el mediano y largo plazo, procesos de acumulación que alcanzan concentraciones superiores a las ambientales. Este proceso es conocido como *biomagnificación*.

## **3.0. Interacción entre el Sistema Físico Químico y el Sistema Viviente**

### **3.1. La vida ayuda a la vida, transformando el ambiente**

Como se mencionó en el inicio de este capítulo, se cree que la tierra se formó hace unos 5 billones de años y unos dos billones de años después, al parecer surgieron las primeras manifestaciones de procesos vivientes. Se inicia una íntima interacción de dos matrices de la estructura del planeta: (a) la manifestación de la materia organizada en estructuras autopropetuentes y evolucionantes, con (b) la materia en condición no

orgánica y sus diversas manifestaciones físicas. Una y otra se afectan y modifican a través del tiempo, generándose en adelante una correlación indispensable para la continuidad de los procesos de la vida.

En la medida en que las primitivas condiciones físicas y químicas del planeta fueron reconocidas por los precursores de los actuales organismos vivos, estos mismos fueron generando modificaciones de las condiciones originales, las que en último término

dieron las facilidades para el propio desarrollo de la vida.

Mientras los primeros seres vivos generaron diversos ajustes de sus formas y funcionamiento para sobrevivir exitosamente en las condiciones físicas y químicas que el medio poseía, su propia existencia produjo importantes modificaciones en su entorno. Modificaciones que no solo transformaron los sustratos; rocas y sedimentos, sino que además modificaron el clima en sus diversas manifestaciones, o definieron la presencia de algunos gases de la atmósfera.

Los organismos que poblaban el planeta, especialmente aquellos que eran capaces de utilizar como insumo el CO<sub>2</sub> y liberaban Oxígeno como desecho, tomaron y entregaron estos gases a la atmósfera, modificando, entre otros factores, la composición proporcional de éstos.

Este proceso de mutuas transformaciones ha conferido al planeta, nuestro planeta, una de las más trascendentes características: la *evolución* de los componentes del sistema viviente. En este devenir por los tiempos, ya sea impulsados por los cambios propios del planeta (ej.: glaciaciones, deriva continental..) o por las ofertas para la explotación de hábitats diversos, innumerables organismos han evolucionado, logrado su esplendor y finalmente han desaparecido, dejando solo sus registros fósiles, como testimonios de la historia pasada. Otros diseños han permanecido a través del tiempo, con muy pocas modificaciones, mientras que otros han surgido en los últimos períodos de la historia del planeta, entre ellos, nosotros, los humanos. Cada una de las formas que han

surgido, han causado transformaciones en el planeta, incorporándose en una íntima comunión a los procesos biogeoquímicos, como se mencionó anteriormente.

El aire, los océanos, los suelos y las rocas sedimentarias son muy distintas de cómo hubiesen sido en un planeta sin vida. De distintas formas, el sistema viviente controla la composición del aire, de los océanos y de los sedimentos. Le ha modificado en gran medida la superficie durante los últimos tres billones de años y, aún en estos días, continúa controlándolo y modificándolo.

La influencia de la que hablamos podría ser explicada con el ejemplo de las fuentes de fosfatos, como fertilizante para la agricultura. Por muchos años, las fuentes de estos compuestos, han sido las islas, islotes y cabos, de sectores del planeta en donde se dan condiciones atmosféricas muy secas principalmente en latitudes bajas (semitropicales). Lugares como las costas de Africa y Africa del Sur, el Pacífico central, y las costas chileno-peruanas, contienen o han contenido importantes depósitos de fertilizantes. Valioso y abundante, este fertilizante es parte de un importante mercado de intercambio comercial internacional, el que comenzó por el año 1840, cuando grandes cantidades fueron transportadas a Londres. Aproximadamente unas 9 toneladas por año llegaban a ese país, en donde se comercializaban a 28 libras británicas por tonelada.

¿ Cual era la fuente de estos fertilizantes y por qué estos se producían solo en algunos puntos geográficos muy característicos del

planeta y en ciertos climas y latitudes ? El fertilizante es el *guano*, el que consiste en el excremento, mejor dicho, deyecciones de aves marinas (guaneras) que nidifican por miles en islas y penínsulas de las costas del norte de Chile y centro sur de Perú, y han estado repitiendo este fenómeno desde hace varios miles de años. Las tres especies principales son: (1) el guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*), (2) el piquero (*Sula variegata*) y, (3) el pelícano (*Pelecanus occidentalis*). Las tres especies se alimentan de anchoveta, un pez que forma cardúmenes y vive en regiones en donde abundan las aguas productivas, sostenedoras de importantes comunidades de plancton. Este último a su vez se desarrolla en lugares en donde se evidencia una alta tasa de disponibilidad de nutrientes generales y específicos. Estos lugares coinciden con las zonas de afloramientos, en donde los desplazamientos de masas de agua suben desde las profundidades, hacia las superficies, arrastrando a su paso sedimentos ricos en nutrientes. En la zona más superficial de las aguas, en donde la luz solar se hace sentir, ocurre como consecuencia de lo anterior, un abundante desarrollo de, microvegetales acuáticos, fertilizados por los compuestos que traen las aguas desde la profundidad. Así, el segmento del ciclo: nutrientes, fitoplancton, zooplancton, anchovetas o sardinas, peces cazadores, lobos de

mar y aves - las más abundantes -, permite que estos elementos originalmente provenientes de los fondos marinos, sean ahora depositados en los suelos de islotes y puntas costeras, para pasar a jugar el indispensable rol de fertilizantes en nuestra economía, a través de la agricultura.

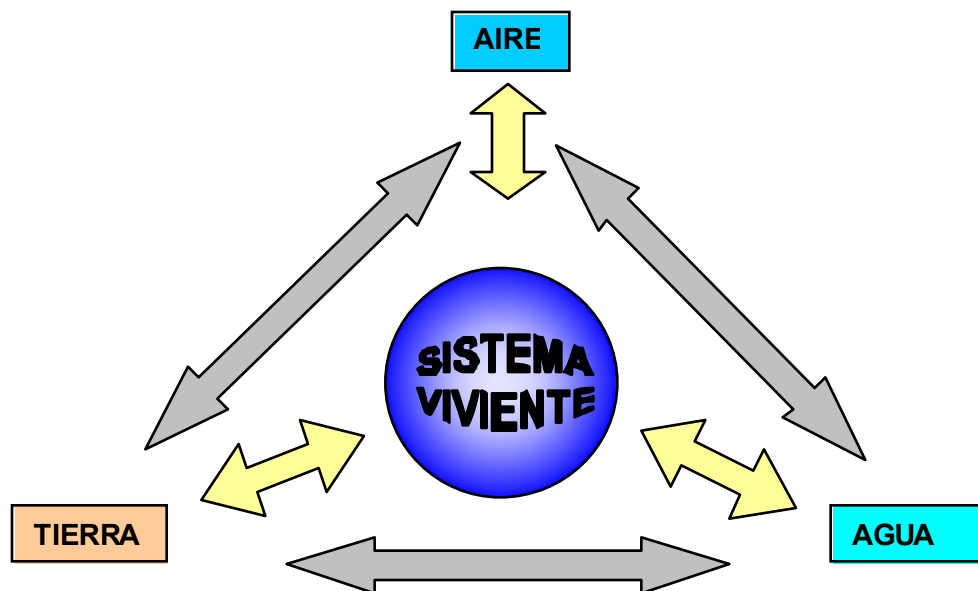
De esta forma, una de las mayores fuentes de fósforo en el mundo, depende de una singular combinación de procesos biológicos en directa interacción con procesos geológicos. El *guano* es depositado en grandes volúmenes solo en aquellos lugares en donde se encuentran las grandes colonias de aves nidificando. Por su lado, las aves nidifican en lugares en donde se generen importantes y seguras fuentes de alimento así como en lugares de baja presión de pérdidas por efecto de depredadores. El guano se acumulará en capas semiduras en lugares de clima seco, pues de no ser así, se disolverá y será arrastrado de vuelta al mar por las lluvias. Sin el plancton, sin los peces, sin la existencia de estas aves coloniales, el fósforo podría haber permanecido en los océanos y la producción agrícola mundial podría haber sido significativamente reducida. De esta forma, los organismos vivientes tienen un importante rol y efecto, en el ciclo global de este importante elemento.



La vida interactúa con el ambiente de su entorno en varias escalas: Una bacteria en el suelo interactúa con el aire, con el agua, con partículas de suelo a su alrededor, en un pequeño espacio cuyas dimensiones podrían ser de una pequeña fracción de centímetro cúbico (cc). Un bosque húmedo tropical como el Amazonas, interactúa con inmensos volúmenes de aire atmosférico, con el agua en sus distintos estados y con los suelos.

Todos los océanos, toda la capa inferior de la atmósfera, así como todo lo que está en la última capa superficial y sobre ella, de la costra dura de la Tierra, es afectada por la vida como un todo. El esquema, gráfica este conjunto interactivo que caracteriza a este planeta.

El caso del hierro, es otro de los buenos ejemplos para comprender la interacción entre los componentes vivos y no vivos del planeta.



Claro está que todo lo que vive sobre la tierra depende en alguna medida de las características del suelo, de las rocas que eventualmente lo componen y de la química de sus compuestos. Al mismo tiempo, es la vida la que afecta de tal manera el sustrato que en ocasiones define el

tipo de minerales que se forma. Las rocas que contienen los grandes yacimientos de hierro y que tanta riqueza y adelanto han traído por su explotación y aplicación de sus productos, fueron depositadas hace más de dos billones de años. De acuerdo a las evidencias, se cree que

el hierro en solución presente en los antiguos océanos, recién formó sedimentos cuando aumentó la presencia de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>), proveniente de los organismos fotosintetizadores. Se combina el hierro en solución con el oxígeno (óxidos) y se inicia su precipitación,

ingresando el material al ciclo de las rocas, para formar los yacimientos que hoy el hombre explota. Cuando ya casi todo el hierro de los antiguos océanos se hubo oxidado y depositado, el oxígeno que ya no se combinó, quedó libre e inició su aumento en la atmósfera del planeta.

---

### 3.2. El Hombre

Hace varios millones de años, nuestros ancestros establecieron el escenario para el eventual dominio de la tierra por parte del ser humano. Debido a que el sol eventualmente morirá, así como cada uno de nosotros habrá desaparecido de la faz del planeta, es que el impacto ambiental de la humanidad, acumulado en toda la historia, podría pensarse que es insignificante e irrelevante ante tan pesimista destino. Sin embargo, cuando pensamos en nosotros viviendo ahora, en nuestros hijos y sus hijos, la percepción del como afectamos al medioambiente se hace muy importante.

La actividad humana hace decrecer o incrementar la magnitud y frecuencia de algunos procesos de la Tierra. Por ejemplo, los ríos se incrementan periódicamente e inundan las cuencas aledañas, independiente de las actividades humanas, sin embargo, la magnitud y la frecuencia de estos fenómenos a veces son influenciados por el hombre. Así, con el objeto de predecir los efectos en el largo plazo, de procesos como las inundaciones, debemos ser capaces de determinar cómo nuestras actividades futuras serán capaces de

modificar las tasas de algunos de los procesos geofísicos del planeta.

Desde el punto de vista biológico, sabemos que la suerte final de cada especie es la extinción. Sin embargo, en la medida en que la población humana se ha incrementado, curiosa y coincidentemente ha habido un incremento paralelo de especies extintas. Esta pérdida de la diversidad genética se relaciona íntimamente a la forma cómo los suelos nativos se transforman en tierras de cultivo primero, y después pasan a ser parte de los pisos urbanos, lo que indudablemente transforma las condiciones ecológicas de un área, mientras que por otro lado, algunas especies son domesticadas o cultivadas y otras, removidas o eliminadas porque han constituidos plagas que afectan los intereses humanos.

Las actividades humanas en las últimas décadas han originado efectos que hoy día se les define como efectos de escala global. Este tipo de efecto global sigue en incremento debido principalmente a los avances tecnológicos de nuestros tiempos.



## 4.0. Medio Natural Biológico

### 4.1. *Los inicios*

La vida, concepto tratado, analizado y definido desde diversos puntos de vista, sin embargo, para quién se adentra en la comprensión de nuestro planeta, no tiene otra connotación, que aquella objetiva y materialista que reconoce que la vida es una fase de la organización de la materia, en que, compuesta principalmente por las diversas combinaciones de elementos principales como el Carbono, Hidrógeno y Oxígeno y, en forma secundaria por otros elementos como nitrógeno, azufre, calcio, etc., es capaz de autocontrolarse y autopropetarse a través de procesos de copia y síntesis molecular. De esta forma, esta dimensión organizada de la materia, genera estructuras con comportamientos químicos definidos (permeabilidad de membranas, transporte activo de moléculas, síntesis) y con tareas complementarias dentro de unidades funcionales básicas (células).

La presencia de los diversos elementos (que son parte de esta organización) en los albores del planeta, el comportamiento de las fuerzas físicas y químicas del ambiente y un par de billones de años de cambios, reacciones y sus efectos asociados, bien pudieron permitir la ocurrencia probabilística de las condiciones precisas para producir los ensamblajes químicos de la vida. Desde los primeros "compuestos" con comportamientos de control y autopropetacion a través de la replicación, hasta la conformación de estructuras complejas y complementarias en función y sostén,

la presencia de cuerpos organizados y funcionales se incrementa con el transcurrir de los tiempos. Desde las primeras formaciones celulares que aprovechan los materiales y sus enlaces energéticos para sus propias autoconstrucciones, hasta aquellas que definen lugares y organelos especializados dentro de sus universos protoplasmáticos, surgen formas y estructuras químicas capaces de sintetizar nuevos materiales mediante el uso de la energía radiante. La aparición de estas formas químicas, capaces de enlazar átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno y eventualmente otros elementos a partir de la exuberante presencia de energía lumínica, incrementa la diversidad de formas vivas que ahora se pueden nutrir de ellos y, por otro lado, introduce notables cambios ambientales, por cuanto este proceso, conocido hoy como fotosíntesis, implica la liberación de moléculas de oxígeno y la captura y utilización de dióxido de carbono presente en la atmósfera. Acción y efecto fundamental, se dan paso a paso las condiciones para que nuevas formas de vida proliferen y constituyan, en la dialéctica de los desafíos entre los organismos y sus ambientes, un complejo proceso evolutivo. La vida, esta nueva dimensión estructural y funcional de algunos componentes de la materia presente en el planeta, ha diseminado sus propuestas por todos los horizontes, a través de cientos de diseños que se ponen a prueba ante las distintas realidades que se van sucediendo.

Los cambios que experimenta la superficie del planeta, van generando múltiples alternativas de

formas de vida que aparecen y desaparecen, dispersándose y ramificándose en formas diversas a través de los tiempos. El registro fósil complementado con la data de rocas,

ha permitido caracterizar segmentos temporales de la historia de la Tierra, el que se resume en el cuadro siguiente:

ERAS	PERIODOS	EPOCAS	años a.p. x 10 <sup>3</sup>	Cambios del Planeta	Ej. Desarrollo Biológicos
CENOZOICO	Cuaternario	Reciente	10.	Gran elevación y glaciaciones	Dominio del hombre
		Pleistoceno	1.000 a 2.000		Extinguen muchos Mamíferos Primeros hombres
	Terciario	Plioceno	10.000	Surgen montañas	Desarrollo mamíferos
		Mioceno	30.000	Surgen montañas	Mamíferos herbívoros
		Oligoceno	40.000	Surgen montañas	Primeros elefantes
		Eoceno	60.000	Continentes actuales	Primeros caballos rinocerontes, camellos
Paleoceno	75.000	Erosión general	Primeros primates		
MESOZOICO	Cretáceo		135.000	Surgen montañas e inundan ext.zonas	Extinguen dinosaurios plantas c flores
	Jurásico		165.000	Se delinean continentes actuales	Dinosaurios- primeras aves y mamíferos
	Triásico		205.000	Climas áridos	Se extienden reptiles de varios tipos
PALEOZOICO	Pérmico		230.000	Gran elevación y glaciación	Premamíferos bosques de coníferas
	Carbonífero		280.000	Pangea  Períodos de uniformidad y continentes inundados con épocas de elevación y perturbaciones	Primeros reptiles Bosques helechos
	Devónico		325.000		Primeros anfibios Primeros bosques
	Silúrico		360.000		Animales terrestres Peces y plantas
	Ordoviciense		425.000		Trilobites abund. Aparecen los peces no hay vida terrestre
	Cámbrico		500.000		Abundantes fósiles invertebrados marinos
PRE-CAMBRICO	(proterozoico)		2.500.000		Gran elevación y glaciación
	(arqueozoico)		4.800.000		Primeras algas marinas (3.200.000)