

## Palabras para el alumno

*Estimados alumnos:*

*A continuación les presentamos la Guía de Estudio de Ecología 2015, consistente en un documento escrito organizado en una Introducción a la Ecología y ocho capítulos que desarrollan los principales temas que serán vistos en la asignatura. Contemplando (1) Autoecología, (2) Ecología de poblaciones, (3) Ecología de comunidades, (4) Ecología de ecosistemas, (5) Energía y productividad de ecosistemas, (6) Ciclos biogeoquímicos, (7) Factores limitantes y (8) Biología y conservación de la naturaleza, los cuales serán aportados vía INFODA conforme el estado de avance de la asignatura.*

*El objetivo de esta guía es constituir un texto de ayuda al estudiante, que contempla los conceptos básicos para la comprensión y análisis de sistemas ecológicos. En ningún caso este documento viene en reemplazar las clases teóricas y prácticas de la asignatura. Es misión del estudiante complementar los temas aquí mencionados con la bibliografía recomendada.*

*Atentos saludos y éxito*

*Dr Oscar Skewes Ramm*

*Dra Paula Aravena Bustos*

## INTRODUCCIÓN

### Ecología. Fundamentos y Campo de Acción

Etimología  
Definición  
Marco  
Ecologismo  
Subdivisiones de la ecología  
Modelos  
Definición de términos comunes

---

**Etimología:** la palabra ecología deriva del griego “oikos”= casa y “logos”= estudio. Etimológicamente ecología es el estudio de organismos en su casa o lugar donde viven.

**Definición:** El primero que propuso la palabra “OECOLOGÍA” fue el zoólogo alemán Ernst Haeckel, en 1869. Haeckel definió ecología como “el estudio de las relaciones recíprocas entre los organismos y su ambiente”, y en general, es definida como la ciencia de las interrelaciones entre los organismos y su ambiente (Donoso, 1981). Elton, en el año 1927, define Ecología como la "Historia Natural Científica" o el estudio científico de la Historia Natural (Krebs, 1985). Odum (1963) agrega que Ecología es "El estudio de la estructura y función de la naturaleza". El mismo autor en 1973 presenta su visión esquemática de este concepto que indica que la Ecología es una división básica de la biología. Desde una perspectiva práctica la Ecología es una ciencia que involucra la actividad de observar, experimentar, hipotetizar y teorizar sobre los seres vivos, desde el punto de vista de las interrelaciones entre ellos y con su medio físico (Soberón, 1991).

**Marco:** El campo de la ecología es sumamente amplio. La ecología emplea información de numerosas ciencias e integra toda esa información con el objeto de interpretar y comprender las interrelaciones entre los organismos y el ambiente. La ecología es esencialmente integradora.

### ¿La ecología es una rama de la biología o una ciencia por sí?

Una forma de delimitar el campo de la ecología es a través del concepto de Niveles de Integración.

- Un primer nivel de integración en biología está formado por moléculas,
- Un segundo, por las células;
- Luego, los órganos, los organismos, las poblaciones y las comunidades.

La ecología se ocupa a partir del nivel de **organismos, poblaciones y comunidades**.

**Ecologismo:** Fukuyama en 1990 postula la hipótesis acerca del “término de la historia” y que alrededor del año 2000 se iniciaría una época en la cual, prácticamente todo el mundo aceptaría como deseable un solo modelo de desarrollo. Por lo tanto se preguntaba: ¿La juventud a qué

ideales ofrecerán sus esfuerzos, sacrificios y aún sus vidas? Predecía el **ecologismo**, las etnias y movimientos espirituales.

**Subdivisiones de la ecología:** Ecología Vegetal y Ecología Animal, antigua, sólo por conveniencia.

Subdivisión más común relacionada con Niveles de Integración, sin embargo hay tres grandes subdivisiones:

- ◆ La autoecología o ecología del individuo: estudia el hábitat y los efectos y reacciones que produce sobre un organismo.
- ◆ La ecología de poblaciones o demoeología: se ocupa de las relaciones que los individuos establecen entre sí y con su propio entorno, cuando se agrupan en poblaciones. Tiempo y espacio definido.
- ◆ La sinecología o ecología de las comunidades y ecosistemas: estudia la interacción con el medio que ocupan y de las poblaciones entre sí. Predación, competencia, simbiosis.

**Modelos:** Una versión simplificada del mundo real. Su mayor utilidad radica en la posibilidad teórica de modificar variables y de predecir efectos. Se usa en combate de plagas, cosecha sustentable etc.

En Internet están disponible (versión gratuita para enseñanza) sistemas de modelos de simulación para poblaciones animales en [www.vensim.com](http://www.vensim.com) o en [www.populus.com](http://www.populus.com)

Los componentes mínimos para representar funcionalmente por medio de un modelo una situación ecológica son: (1) Fuente de energía; (2) Propiedades; (3) Vías de flujo; (4) Funciones de interacción; (5) Dimensiones del modelo

Existen distintos tipos de modelos (Lincoln *et al.* 1995).

Modelo matemático: representación simbólica de un número de hipótesis o suposiciones sobre un sistema en forma de ecuación o sistema de ecuaciones, se emplea para describir o predecir el comportamiento de un sistema.

Modelo Estocástico: modelo matemático fundado en las propiedades de la probabilidad, de forma que una entrada dada produce un intervalo de salidas posibles, debido únicamente al azar.

Modelo determinístico: modelo matemático en el que todas las relaciones son fijas y el concepto de probabilidad no se toma en cuenta, de modo que una cierta entrada causa una predicción exacta como salida

## Definiciones

- ❖ Población: Grupo de individuos de una misma especie y que intercambian material genético en un tiempo y espacio
- ❖ Comunidad: todas las poblaciones que ocupan un área y tiempo determinado
- ❖ Biocenosis - biogeocenosis: ecosistema en literatura europea
- ❖ Biosfera-ecosfera. Ecosistema general; la parte de la Tierra y de la atmósfera capaz de contener a los organismos vivientes

## CAPITULO 1 AUTOECOLOGÍA

### 1. Introducción a la autoecología

- 1.1 Ecología evolutiva
  - 1.2 Selección natural
  - 1.3 Especiación
  - 1.4 Coevolución
- 

#### 1.1 Ecología evolutiva

El proceso evolutivo tiene lugar en un contexto ecológico. Los eventos evolutivos ocurren debido a la interacción de los organismos con el ambiente. La ecología evolutiva estudia las adaptaciones de los organismos a su medio ambiente, y los mecanismos que las generan.

La teoría de la **evolución orgánica**, es una concepción moderna en la biología, que postula, la idea que los seres vivos pasados y actuales constituyen una conglomerado de descendencia generada a partir de ancestro(s) común(es). Pese a su origen relativamente reciente, la teoría de la evolución hoy en día está presente como un importante fundamento conceptual en todas las áreas del pensamiento biológico, desde la biología naturalista hasta la biología celular o la bioquímica.

Es interesante notar que la biología se desarrolló, durante miles de años, en ausencia de este gran marco teórico. Aristóteles (Estagira, 384 A.C. - Calcis, Eubea, 322 A.C.) es un ejemplo de ello. Este filósofo griego cuya influencia en el pensamiento occidental ha sido de enorme importancia, es también considerado como uno de los primeros biólogos naturalistas (Cecchi *et al.*, 2001 Rev. chil. hist. nat. vol.74 n.3). La biología aristotélica tiene tres factores principales que explican esta falta de visión: (1) la idea eternizadora de la reproducción de los entes; (2) el planteamiento que los fenómenos naturales tienen un propósito (causa final) que determina su existencia; y (3) como consecuencia de lo anterior, la clasificación de los seres vivos según criterios analógico-funcionales que oscurece la existencia de vínculos estructurales y semejanzas de origen entre los organismos.

Los biólogos evolucionistas contemporáneos establecen una distinción entre **taxonomía** y **sistemática**, para diferenciar un ordenamiento de los organismos que apunta meramente a identificar sus **características específicas**, de otro que intenta agruparlos según **criterios filogenéticos o evolutivos**. Henning (1965), fundador de la escuela cladística de clasificación y reconstrucción filogenética, estableció que la clasificación de los seres vivos, en orden a ser biológicamente significativa, debe hacerse sobre la base de la distinción de grupos estrictamente monofiléticos, o "naturales". Resulta claro que para establecer estos grupos es preciso definir primero un criterio comparativo que distinga relaciones de cercanía (homología) evolutiva entre los rasgos estructurales que se comparan. Según la escuela cladista, un carácter es evolutivamente homólogo en dos o más taxa, cuando es derivado del mismo (o el correspondiente) carácter de su ancestro común más cercano. Definida así, la homología

evolutiva de dos caracteres es una hipótesis que requiere evidencias que la sustenten. Interesantemente, tal evidencia se obtiene aplicando, en lo fundamental, los mismos criterios de homología que desarrollaron los naturalistas predarwinianos: correspondencia estructural y/o correspondencia de origen embrionario, como De Beer (1971) y Mayr & Ashlock (1991), lo reconocen.

Es sólo a mediados del siglo XIX, con la publicación de "The origin of species" por Charles Darwin, que la concepción evolutiva de los seres vivos toma fuerza y se legitima completamente en la comunidad científica. Darwin, así como otros muchos naturalistas evolucionistas contemporáneos y posteriores a él, cuentan con el Sistema Natural como un sustento importante en la formulación de la teoría de la evolución.

Al respecto Darwin señala: *"Yo creo que es este el caso, y que la comunidad de descendencia - única causa conocida de la similitud en los seres vivos es el vínculo, el cual, pese a varios grados de modificación observada, es parcialmente revelada por nuestra clasificación"* (Darwin, 1872).

De esta manera establece que el ordenamiento biológico es posible como resultado que los organismos comparten un ancestro común. Ese ordenamiento biológico al que Darwin hace referencia; es el que aparece expresado en el "Sistema Natural" que se construye estableciendo homología estructural y embriológica.

**La evolución** consiste en cambios en las frecuencias génicas de una especie como resultado de :

- 1) *presión selectiva del medio y las especies interactuantes*
- 2) *mutaciones*
- 3) *deriva genética*

En consecuencia, **EVOLUCIÓN** se puede definir como el proceso biológico por el cual a lo largo de la historia la vida va tomando diversas formas de acuerdo con la necesidad de adaptarse a las características de los **ECOSISTEMAS** que cambian con el tiempo geológico, con la latitud, con las características del substrato y con las diversas formas que conviven en determinado espacio (Curtis y Barnes, 1995).

Los pilares fundamentales de la Ecología evolutiva son Fitness, Adaptación y Selección.

Donde Adaptación, corresponde a la adecuación de los rasgos estructurales, funcionales y conductuales de los organismos de una especie respecto al ambiente donde viven y su modo de vida. Ej: Adaptación fenotípica. No confundir con "aclimatación" (cambios **fisiológicos** instantáneos y reversibles en un individuo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales).

Fitness es la propensión a sobrevivir y reproducirse en un determinado ambiente. La selección natural favorecerá aquellas variantes de alto fitness, por lo que la toma de decisiones es adaptativa!! Determinar el fitness de los individuos no es fácil, por lo que se utilizan medidas como la energía en el tiempo o fertilidad en el tiempo

La teoría de la **MICROEVOLUCIÓN** postula que la especiación sería un fenómeno lento u gradual. En tanto, la **MACROEVOLUCIÓN** plantea que la especiación sería el resultado de cambios rápidos y periódicos.

## 1.2 Selección natural

Teoría propuesta hace 140 años por Charles Darwin, la selección natural es el concepto central de la teoría de la evolución biológica. A pesar de ello, la idea de la selección sigue siendo incomprendida por un gran número de científicos y pensadores. La selección natural es el proceso que se da entre entidades con variación, multiplicación y herencia; y un resultado intrínseco de esta dinámica es la producción de órganos, estructuras y conductas que están diseñados para la supervivencia y la reproducción. Los estudios de selección en acción en la naturaleza son imprescindibles para entender como la selección natural tiene lugar en el día a día de las poblaciones naturales.

### Postulados:

1. Todos los seres vivos evolucionaron a partir de unos pocos organismos simples y cada especie se originó a partir de otra.
2. En la mayoría de las especies, el número de individuos que sobreviven y se reproducen en cada generación es pequeño en comparación con el número total producido inicialmente.
3. En cualquier población ocurren variaciones aleatorias entre los organismos, algunas de las cuales son hereditarias. La interacción entre estas variaciones hereditarias, surgidas al azar, y las características del ambiente determinarán cuáles son los individuos que sobrevivirán y se reproducirán y cuáles no (proceso de selección natural).
4. No todos los individuos son iguales
5. La selección natural produce caracteres nuevos, si bien lo suele hacer a partir de caracteres ya existentes

### Consideraciones:

1. Hay una confusión entre selección natural y evolución. La selección natural es uno de los mecanismos por los cuales se produce la evolución.
2. La selección natural se produce principalmente por mortalidad diferencial (lucha por la existencia, supervivencia del más apto).
3. Evolución por selección natural produce adaptación y esta especiación. Los organismos son consecuencia del pasado, han sido adaptados por éste (no están adaptados a éste).

### Evidencias de la acción de la selección natural

Los investigadores **Peter Grant** y **Rosemary Grant**, han estado trabajando de forma infatigable en busca de pruebas de la selección natural desde los últimos casi cuarenta años. Los estudios fueron centrados sobre la isla de Daphne Mayor (Galápagos). Esta es una isla pequeña de recursos muy limitados, con lo que solo puede albergar reducidas poblaciones de aves. Lo cual tiene sus ventajas, una población más pequeña puede ser estudiada de forma más exhaustiva. Los animales

periódicamente se marcaban con anillos al tiempo que se tomaban diversas medidas corporales (como el peso y longitud del animal, así como la longitud y anchura del pico).

Las especie objetivo de esta isla es *Geospiza fortis*, el pinzón dominante y con un peso de 18 – 20 gramos (más pequeño que un gorrión). Su alimentación consiste principalmente en semillas de tamaño pequeño y medio. La otra especie de pinzón que le sigue en importancia es *Geospiza scandens*, un peculiar pinzón de mayor tamaño que *G. fortis*, provisto de un pico bastante más largo y adaptado para alimentarse de las semillas, polen y néctar (figura 1.1). Gracias a esta diferente dieta, podría decirse que ambas aves se libran de competir entre sí (Grant y Grant, 2002).

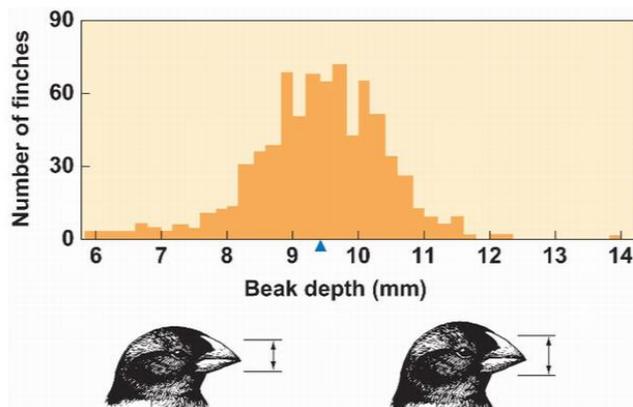


Figura 1.1 Variación del tamaño del pico de *Geospiza* en Isla Daphne (1976)

En Daphne Mayor las precipitaciones anuales suelen ser de 130mm. Sin embargo, una drástica sequía afectó la isla en el año 1977, las precipitaciones se redujeron a menos de una cuarta parte y la producción vegetal cayó en picada. Prácticamente el 85% de la población de *G. fortis* murió de inanición (de ~ 1200 animales censados, apenas 200 sobrevivieron), no hubo reproducción aquel año y los supervivientes perdieron bastante peso durante la hambruna. Al año siguiente las precipitaciones retornaron, pero fueron reducidas. Con algunos altibajos, la población de *G. fortis* terminó cayendo hasta no más de 150 ejemplares a finales de 1982. Sin embargo, *Geospiza scandens* no lo pasó tan mal, después de todo había monopolizado el consumo de semillas más duras y toleró bastante bien la reducción de las precipitaciones. Las semillas pequeñas se agotaron y solo quedaron disponibles y en relativa abundancia las semillas grandes y duras, son semillas a las que solo pueden hacerle frente los picos más grandes y robustos. Al sobrevivir únicamente los animales de picos mayores, también de mayor talla corporal, en menos de un año aumentó la media poblacional del peso corporal y tamaño del pico en *G. fortis* (fig.1.2).

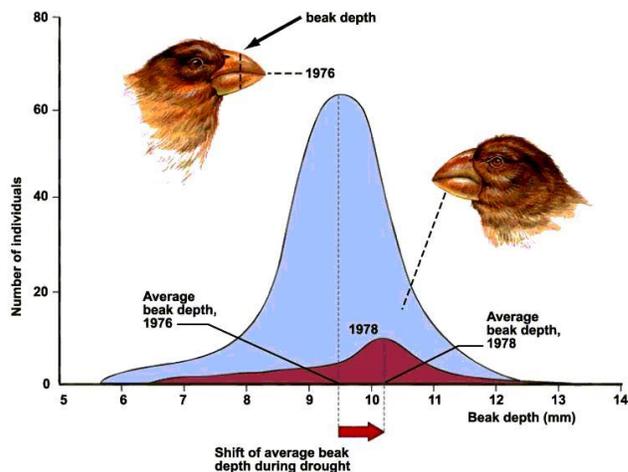


Figura 1.2 Distribución del tamaño del pico antes y después de la sequía

Pero como el clima general de las Galápagos es inestable e imprevisible. Inmediatamente a la sequía siguió un nuevo cambio. Regresaron las lluvias, el fenómeno de El Niño azotó sin compasión al archipiélago de las Galápagos. Desde Noviembre de 1982 hasta Julio de 1983 no llovió, para nada, sino que diluvió. Aquel año el crecimiento vegetal se disparó y la producción

posterior de semillas pequeñas y blandas fue tan elevada, que se mantuvo un excedente suficiente de pequeñas semillas para los pinzones, incluso durante la dura sequía que se siguió.

Durante aquel excepcional 1983 los pinzones pudieron reproducirse durante 8 meses seguidos (cuando la temporada de cría habitualmente dura de 1 a 3 meses). Aunque la realidad es más compleja. La cría fue escasa durante los años de sequía que siguieron, si bien el patrón de éxito reproductor (a menudo relacionado directamente con la supervivencia) se invirtió: los pinzones más pequeños tenían mayor facilidad para encontrar alimento, que los pinzones de mayor tamaño. En otras palabras, las versiones “de pico pequeño” de *G. fortis* tenían ahora alimento en demasía, mientras que la comida para versiones “de pico grande”, escaseaba. Antes de que finalizaran los '80, los *G. fortis* habían regresado a las humildes tallas que dominaban los años previos a la dura sequía. Situación que se mantuvo hasta inicios del siglo XXI.

Entonces un nuevo cambio y peligro atacó a la población nativa de *G. fortis*. A finales del año 1982 se había establecido en la isla la primera población reproductora de *G. magnirostris*, llegado de las islas vecinas, tres machos y dos hembras concretamente. *G. magnirostris* es un pinzón bastante mayor que *G. fortis*, con unos 30 gramos frente a los 18 de este último. Y posee un pico mucho más alto y fuerte, ideal para alimentarse de semillas de gran tamaño y provistas de duras corazas protectoras, transformándose rápidamente en un temible competidor, en un día, uno solo de estos pinzones come por dos ejemplares de *G. fortis*. La población de *G. magnirostris* se instaló con éxito en la isla. Hasta el punto de que en el año 2004 la biomasa de *G. magnirostris* ( $105 \pm 19$  ejemplares) había conseguido igualar a la de *G. fortis* ( $235 \pm 46$  ejemplares); lo que desembocó en una crisis alimentaria que casi llevó a ambas poblaciones a la extinción.

Las poblaciones en cuestión sobrevivieron, pero pagaron el precio. Una mortalidad que no se había visto desde la sequía de finales de los '70 sacudió la isla. Pero lo más llamativo era que entre los supervivientes de *G. fortis*, durante los dos siguientes años a la gran mortandad, habían sufrido una presión selectiva en sentido contrario a la de la época de gran sequía: el tamaño medio del pico se redujo considerablemente, al igual que la talla de los animales. Una morfología corporal ideal para manejar semillas de pequeño tamaño, aquellas de las que no se alimenta *G. magnirostris*.

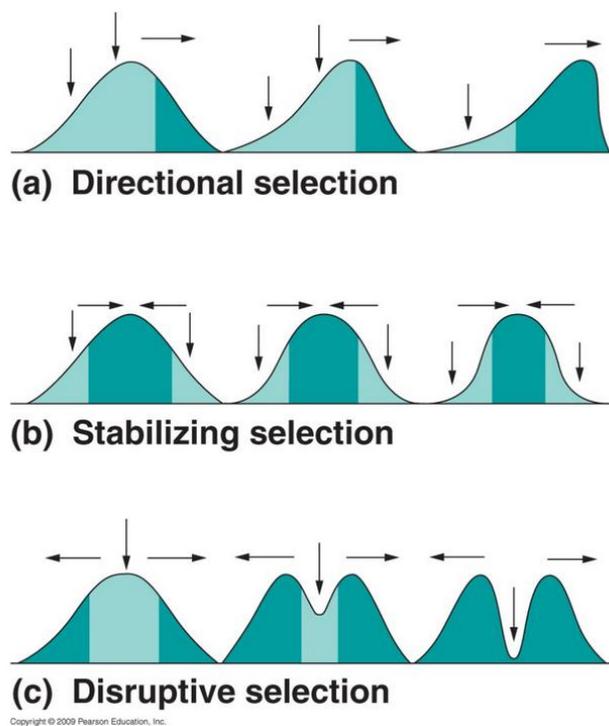


Figura 1.3 Tipos de selección según efecto sobre la población

En este ejemplo, las inclemencias ambientales llevaron a la población de isla Daphne hacia una selección natural de tipo **direccional**, permaneciendo en el ambiente preferentemente los individuos que poseían una característica poco común dentro de la población original. No obstante, en la naturaleza, también se dan casos de **selección estabilizadora**: generalmente asociados a características directamente relacionadas con la supervivencia, como tamaño de las crías al nacer. O bien, la selección puede afectar a la población de manera **disruptiva**, es decir, beneficiando sólo a los individuos que poseen características poco comunes, pudiendo llevar a las poblaciones hacia la especiación (figura 1.3).

### 1.3 Especiación

La especiación, formación de nuevas especies y el desarrollo de diversidad dentro de las especies, ocurre cuando el flujo génico dentro de la fuente génica es interrumpido por un mecanismo de aislamiento geográfico (especiación alopátrica) o ecológico (especiación simpátrica). Si el aislamiento es por separación geográfica se puede producir una especiación alopátrica. Si el aislamiento ocurre por medios ecológicos o genéticos dentro de la misma área es posible que se tenga una especiación simpátrica. En la figura 1.4 se representa el efecto de las diferentes situaciones topográficas o de relieve que pueden traducirse en aislamiento geográfico, de acuerdo a las capacidades de desplazamiento de los organismos. La figura 1.5 muestra las zonas de alimentación de cinco gorjeadores norteamericanos en un abeto. Como las especies no solapan su sitio de alimentación, comienzan a diferenciarse en el tiempo hasta conformar especies diferentes.

### 1.4 Coevolución

La coevolución es un tipo de evolución de la comunidad. Es la evolución interdependiente de dos o más especies que poseen una relación ecológica obvia. Implica interacción selectiva recíproca entre dos grupos principales de organismos con relación ecológica estrecha. Ej. Plantas y herbívoros, parásitos y huésped, etc.

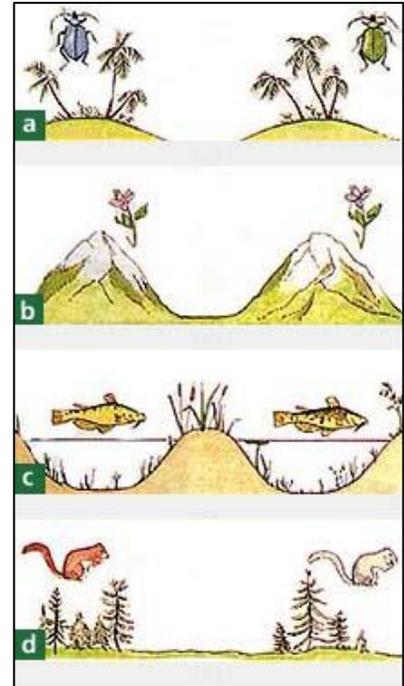


Figura 1.4 Especiación alopátrica

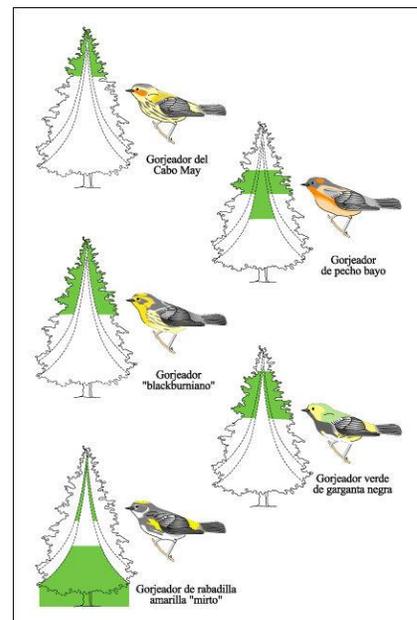


Figura 1.5 Especiación simpátrica

La idea de una evolución paralela y relacionada entre plantas y animales la dio por primera vez Erasmus Darwin (citado por Charles Darwin, 1859), quien vio que las flores de las orquídeas y los abejorros tenían una relación estrecha para la polinización mediante estructuras morfológicas bien adaptadas. A pesar de la observación hecha por Darwin, el término de coevolución fue planteado como tal recién en 1965 (Ehrlich y Raven). Odum (1995) define coevolución como la selección natural recíproca entre dos o más grupos de organismo, estrechamente relacionados ecológicamente pero sin que exista intercambio de material genético.

Entre plantas e insectos la coevolución es un proceso estrecho y de alta importancia ecológica, ya que, gracias a una serie de adaptaciones coordinadas se han desarrollado varios mecanismos de interacción favorables. El 50% de las especies de orquídeas tienen relaciones ecológicas complejas con los insectos que las polinizan (Dodson, 1975). La presión de selección inducida por los insectos herbívoros sobre las plantas es la causa más probable para el desarrollo de las flores cíclicas en las angiospermas. Surgen como una alternativa a la defensa química contra los insectos, que rápidamente adquieren resistencia. Inicialmente las flores aparecen como un conjunto foliar modificado que protege a las estructuras reproductivas de los predadores, y posteriormente para ofrecer recompensas que eviten el ataque a hojas, tallos, etc. Luego favorecieron la capacidad de atraer insectos, y aumentando la tasa de polinización entomófila, incrementando la eficacia y eficiencia biológica de las plantas como un conjunto de adaptaciones reproductivas para plantas e insectos (Fontúrbel, 2000).

### Definiciones

- ❖ Acervo genético: conjunto de caracteres y combinaciones que existen en una población, cuanto mayor sea el **acervo genético** mayor será la variabilidad
- ❖ Relación directa entre Variación Genética y Evolución: ésto lo demostró matemáticamente Fisher en la década de los cuarenta y experimentalmente por Ayala en la década de los sesenta.
- ❖ Organismo: Cualquier ser viviente; planta, animal, hongo, protista o procarionte
- ❖ Población: Grupo de organismos de una especie que ocupan un área definida, en un tiempo definido
- ❖ Comunidad: Cualquier grupo de organismos pertenecientes a varias especies que concurren en el mismo hábitat
- ❖ Ecosistema: Comunidad de organismos y su medio físico interactuando como una unidad ecológica
- ❖ Genes: unidades de la herencia (**genoma**: conjunto de genes contenidos en los cromosomas)
- ❖ Fenotipo: expresión física de la información
- ❖ en los genes (**genotipo**)
- ❖ Genética poblacional: diferenciación genética dentro de las poblaciones (**frecuencia alélica**)
- ❖ Evolución: cambios en la frecuencia alélica
- ❖ Cline o Clina: cambio gradual o gradiente en características fenotípicas o frecuencia genotípica
- ❖ Ecotipo: cuando existe distribución discontinua de fenotipos/genotipo

## CAPITULO 2 ECOLOGÍA DE POBLACIONES

### 2a. Introducción a la ecología de poblaciones

- 2.1 Definición
  - 2.2 Teoría ecológica de poblaciones
  - 2.3 Genética de poblaciones
  - 2.4 La Ley de Hardy y Weinberg
  - 2.5 Estrategias r y K
- 

#### 2.1. Definición

Todos los individuos de una especie que ocupan un área y tiempo definido, que intercambian material genético y que usualmente presentan un cierto grado de aislamiento de otros grupos similares. La población tiene varias características que se expresan como funciones estadísticas y que son posesión del grupo y no de los individuos como: natalidad, densidad, distribución de edades, potencial biótico, dispersión, etc.

#### 2.2. Teoría de la ecología de poblaciones

Todos los organismos normalmente producen más descendencia que la que sería necesaria para la mantención constante de la población.

- Necesidad de factores reguladores de la población: Estos pueden consistir en una influencia denso-dependiente de la natalidad o de la tasa de mortalidad. Cuando la tasa de natalidad es igual a la de mortalidad la población permanece constante. Una gran cantidad de mecanismos y factores pueden generar esta regulación densodependiente.
- Nivel de regulación: ¿A qué nivel será regulada una población? La definición del óptimo es difícil. Se trata del ámbito en que los organismos muestran la mayor productividad o el campo en que presentan la menor mortalidad? No es necesario que ambos coincidan.

#### 2.3 Genética de poblaciones

Los individuos de una población pertenecen a una fuente o “pool” genético común. Ni un sólo individuo dispone de la totalidad de la información que en la población se almacena. Por lo tanto los individuos de una población no son una unidad genética uniforme. En poblaciones numerosas, como normalmente conocemos, las frecuencias de genes se desplazan o cambian en función de la selección. Bajo cambiantes condiciones ambientales, correspondientemente son favorecidos o tienen ventaja distintos individuos y tienen por lo tanto mayores posibilidades en la lucha por la existencia. Así pueden desplazarse en sucesivas generaciones en el mismo lugar distintas

frecuencias génicas. En organismos con muchas generaciones por año, a lo largo de las épocas, se suceden individuos más adaptados a cada una de ellas.

La Diploidia permite a su vez que tanto plantas como animales prueben mutaciones que van apareciendo, en forma recesiva o bien son mantenidos como “carga genética” a través de muchas generaciones, antes de que sean definitivamente eliminadas o adquiridas por toda la población. Ejemplo de esto es la mutación que origina anemia falciforme y su resistencia a la malaria en el hombre.

En el caso de poblaciones pequeñas o poco numerosas no se puede concluir, que a base de una mutación exista un cambio adaptativo en la población al cabo de algunas generaciones. En estas poblaciones puede aparecer con mucho mayores probabilidades la **Deriva genética**.

**DERIVA GENICA:** Es una fuerza evolutiva que actúa junto con la selección natural cambiando las características de las especies en el tiempo. Ya que actúa sobre las poblaciones alterando la frecuencia de los alelos y la predominancia de los caracteres sobre los miembros de una población y así va cambiando la diversidad del grupo. Sus efectos pueden acentuarse en poblaciones pequeñas y resultan en cambios que no son necesariamente adaptativos. La frecuencia de un gen puede cambiar de una generación a otra gracias a lo que llaman errores de muestreo, ya que de todos los genes de la población solo una pequeñísima fracción pasara a la siguiente generación. Esta situación tiene enorme importancia para la protección y conservación moderna de la naturaleza.

Poblaciones insulares y genética. La colonización (efecto fundador) de nuevos ambientes o islas ocurre generalmente por unos pocos individuos. La población en desarrollo tiene sólo parte de la información genética de la población original (cuello de botella poblacional). Así, es probable que la población insular difiera en apariencia, en sus formas de reacción fisiológicas. Este efecto colonizador o fundador explica la fuerte tendencia a la formación de razas en áreas relativamente cercanas pero aisladas.

**EFFECTO FUNDADOR:** Se conoce como efecto fundador a las consecuencias derivadas de una nueva población generada a partir de un número muy reducido de individuos. Eso genera que exista una baja diferenciación genética entre los individuos. Las poblaciones con efecto fundador pueden presentar alelos raros en exceso o carecer de otros comunes en la especie original, ya que la población se ha formado a partir de una pequeña muestra de individuos que no era representativa de la diversidad genética original (Figura 2.1).

**CUELLO DE BOTELLA:** Es cuando una población o especie ha sufrido un drástico descenso en el número de miembros en algún momento del pasado, por algún factor externo, llegando en algunos casos a estar al borde de la extinción. Como consecuencia se homogeniza la población. Es decir, se halla poca variabilidad y algunas características se hacen iguales y negativas al ambiente.

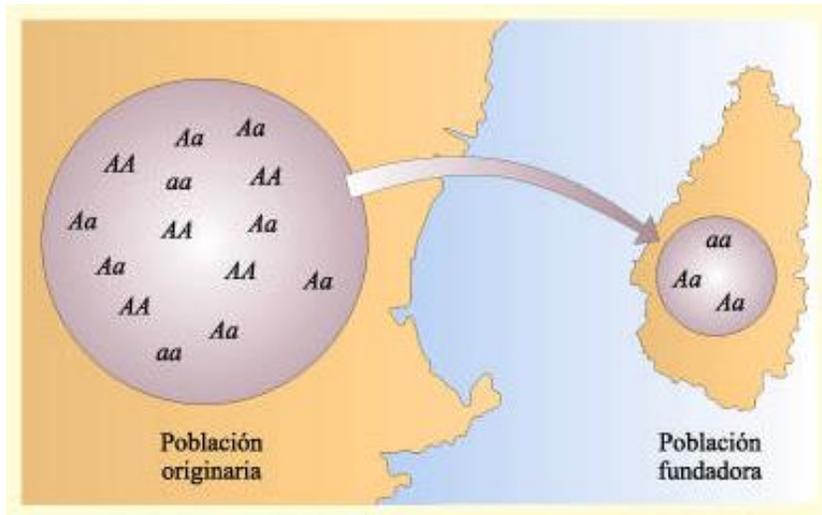


Figura 2.1 Situación típica de efecto fundador sobre la variabilidad de la población colonizadora

Se produce cuando unos pocos miembros de la población original establecen una colonia. Este pequeño tamaño poblacional implica que la colonia puede tener:

1. **Poca variabilidad genética**, respecto a la población original.
2. Pequeño tamaño
3. Una muestra **no aleatoria de los genes** de la población original.
4. La nueva especie surge en hábitats marginales, habitualmente en los límites de distribución de una población central de mayor tamaño.
5. Estas poblaciones periféricas **pueden convertirse en especies diferentes**.
6. Estaríamos ante casos de aislamiento geográfico, y posterior especiación, producidos por fenómenos de dispersión y colonización.

### EJEMPLO

Se pueden ver los efectos de un cuello de botella en tres poblaciones de roedores cavadores (*Ctenomys brunneus maulinus*) producto de erupción del volcán Lonquimay en los Andes del centro-sur de Chile a mediados de 1900s. Los censos en tres zonas Río Colorado, Las Raíces y Alto Bío Bío indicaron una disminución 91,3% en el tamaño de la población reproductora después de la catástrofe. Todos los parámetros de diversidad genética fueron drásticamente afectados y superaron las expectativas en cada población. El polimorfismo por locus se redujo en un 57%, 100% y 83,2% respectivamente. Se estima que las poblaciones de origen tenían 2,2, 1,5 y 1,4 alelos por locus, mientras que las tres poblaciones derivadas mostraron valores de 1,4, 1,0 y 1,1 respectivamente. La heterocigosidad promedio se redujo en un 71%, 100%, y 57% en las mismas poblaciones, respectivamente. La estructuración genética espacial observada antes de la erupción indicó un alto grado de subdivisión de la población, coherente con un modelo de aislamiento por distancia. Después de la



erupción, los bajos niveles de variación genética en *Ctenomys*, afirmó ser una respuesta al cuello de botella.

## 2.4 La Ley de Hardy y Weinberg

George Hardy y Wilhelm Weinberg determinaron de manera independiente en 1908 que “Si no existe ningún proceso o mecanismo evolutivo (selección natural, deriva génica, mutación o migración) que modifique las proporciones de genes (frecuencias alélicas) de una población y mientras exista apareamiento aleatorio (panmixia), las frecuencias genotípicas permanecerán en unos valores específicos, denominadas de equilibrio, durante sucesivas generaciones”.

## 2.5. Estrategias r y K

Los habitantes de ambientes constantes en el largo plazo han sido seleccionados para un máximo y sustentable aprovechamiento de este ambiente. Los habitantes de ambientes o hábitat que aparecen y desaparecen con rapidez han sido seleccionados para un rápido y agotador aprovechamiento del ambiente como asimismo para una rápida y amplia búsqueda de un nuevo ambiente. Así se llega a los estrategas del tipo **K**, que se han adaptado a la capacidad del medio y de estrategias **r** que han desarrollado una tasa reproductiva muy alta, gran velocidad de desarrollo y una gran tendencia a abandonar el territorio.

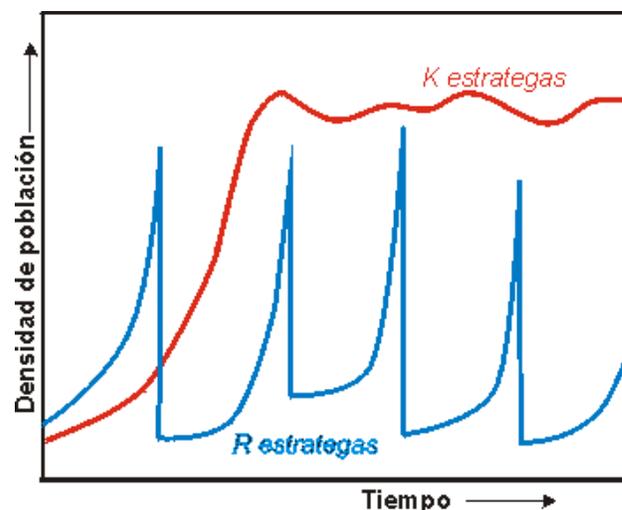
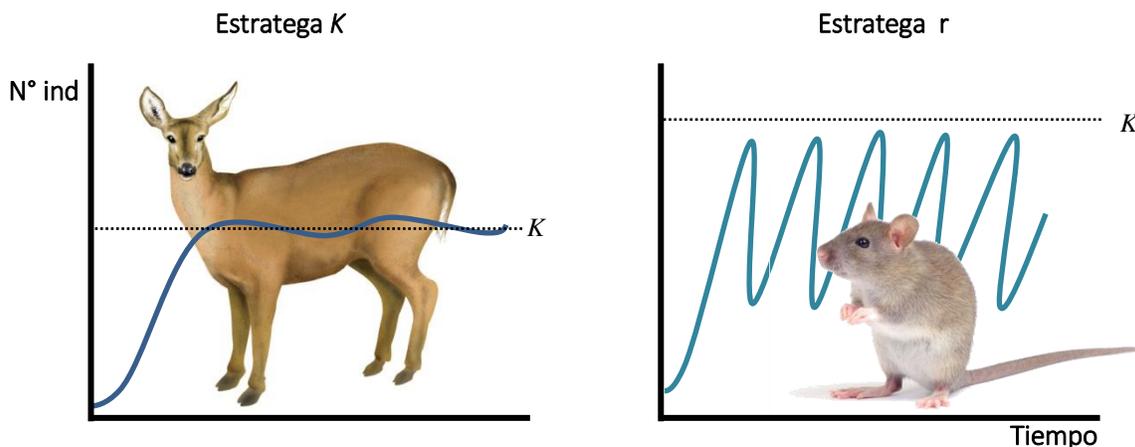


Figura 2.2 Esquema estrategias r y K

La forma más sencilla de entender los conceptos de **selección-r** y **selección-K** es analizar lo que sucede en dos tipos de hábitat que se diferencian en términos de selección. Una población que se encuentre en un ambiente impredecible (con periodos favorables y desfavorables de duración variable) suele ver reducido su tamaño periódicamente por condiciones adversas extremas (es decir, suele sufrir impacto independiente de la densidad poblacional), y los individuos mueren independientemente de cual fuese su grado de adecuación, en términos genéticos, a las condiciones precedentes. Los periodos catastróficos son seguidos por otros (menos catastróficos) en los que la población incrementa su tamaño. En éstos últimos, la competencia es reducida ya que la población está aún lejos de su nivel de saturación. Así, las adaptaciones que suponen un incremento de la tasa instantánea de crecimiento, **r**, son seleccionadas, ya que los individuos con mayor potencial para reproducirse son los que tienen más probabilidad de dejar descendencia antes de que otro fenómeno catastrófico “golpee” a la población. Estas poblaciones nunca alcanzan la establecerse en la capacidad de carga del sistema (figura 2.3).

En contraste, una población que se encuentra en un ambiente constante y predecible suele fluctuar poco, permaneciendo con tamaños próximos a los límites impuestos por la disponibilidad

de recursos; es decir, próximos a  $K$  (la capacidad portadora de la población). En estas situaciones ambientalmente estables, y donde la densidad de la población es alta, se favorecen adaptaciones que suponen mejoras en la habilidad y la eficacia con que se utilizan los recursos. Los mejores competidores tienen más posibilidades de prosperar y dejar descendencia, mientras que los jóvenes tienen dificultades para establecerse, llegar a edad adulta y reproducirse. El hábitat favorece a los individuos con mayor tamaño.



Entre ambos tipos y constituyendo un continuo existen múltiples posibilidades. En general se puede clasificar a los organismos grandes y longevos como estrategias  $K$  y a los organismos pequeños y especies pioneras dentro de los  $r$ .

ACTORES	SELECCIÓN $r$	SELECCIÓN $k$
CLIMA	Variable y/o no predecible, inseguro	Muy constante y/o predecible, seguro
MORTALIDAD	Variable e impredecible, independiente de la densidad	Predecible, dependiente de la densidad
TAMAÑO POBLACIÓN	Variable, por debajo de $K$ , sin equilibrio Hay vacíos ecológicos Hay recolonización cada año	Casi constante, próximo a $K$ , en equilibrio Espacio saturado con individuos Recolonización no necesaria
COMPETENCIA INTRA-INTERESPECÍFICA	Variable, frecuentemente débil	normalmente intensiva
FAVORECE	1) desarrollo veloz 2) gran $r$ max 3) reprod. temprana 4) pequeño peso corp	1) desarrollo lento 2) gran aptitud compet. 3) pocas oscilaciones en recursos 4) reproducción tardía 5) gran peso corporal
LARGO VIDA	corta, generalmente < a 1 año	longevos, generalmente > a 1 año

El **esquema  $r/K$**  constituye un marco de referencia que explica la evolución de las diferentes historias de vida, ya que la tendencia es heredable. Un ejemplo de esto, lo investigó Law *et al.* (1977), experimentando con poblaciones de *Poa annua*, observaron que en hábitats estresados (en los que suele abundar el espacio) *P. annua* suele dedicar muchos recursos a reproducción en el primer año, en el que casi todas las plantas completan su ciclo de vida. Mientras que, en hábitats más ricos, donde las plantas están muy cerca unas de otras (Ej. hay alta densidad relativa), al principio se dedican muchos recursos a crecer, retrasándose la reproducción hasta que se ha alcanzado un cierto tamaño apropiado. Cuando semillas de esta especie procedentes de dichos hábitats diferentes fueron plantadas en medios estándar en una densidad moderada, las plantas resultantes siguieron desarrollando los mismos patrones de crecimiento. Esto sugiere que los patrones de crecimiento estaban determinados genéticamente y, en consecuencia, que en el caso de hábitats estresados estuvo operando, preferentemente, la **selección del tipo  $r$** , y en el segundo caso **la selección del tipo  $K$** . La dicotomía  $r/K$  es importante porque puede explicar gran parte de los esquemas vitales (historias de vida) que encontramos en la naturaleza.

## 2b. Propiedades de la población

- 2.5 Potencial biótico o reproductivo
  - 2.6 Resistencia ambiental
  - 2.7 Capacidad de carga
  - 2.8 Patrones de crecimiento
  - 2.9 Tamaño y densidad poblacional
- 

### 2.5 Potencial biótico o reproductivo

Corresponde a la capacidad de los individuos para reproducirse en condiciones óptimas

- ❖ Potencial de reproducción: Relación entre ♂ y ♀, duración del ciclo biológico
- ❖ Potencial de sobrevivencia: Pot. Nutrición, Pot. Protección

### 2.6 Resistencia ambiental

Conjunto de factores **bióticos y abióticos** que impiden a una población alcanzar el potencial biótico.

### 2.7 Capacidad de carga

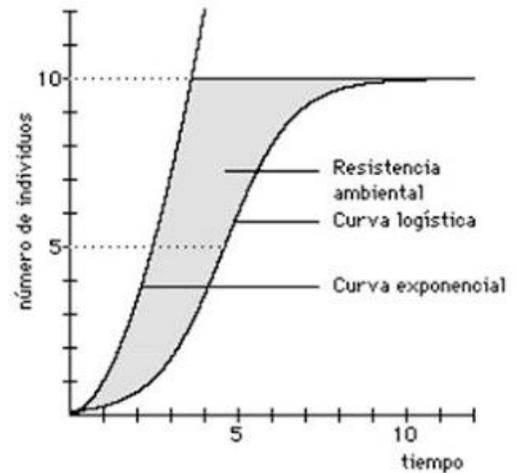
Cantidad promedio de individuos que coexisten cuando la curva de crecimiento se encuentra en la fase de equilibrio. También se define capacidad de carga como el número máximo de individuos que un medio determinado puede soportar. Los datos proyectados en una curva poseen tres fases:

- A:** fase de establecimiento o aceleración positiva.
- B:** fase logarítmica.
- C:** fase de aceleración negativa

## 2.8 Patrones de crecimiento

Se refiere al tipo de gráfica que representa la tasa de crecimiento de una población. Así podemos encontrar curvas con crecimiento sigmoideo, exponencial o decreciente, determinadas tanto por el potencial biótico en su interacción con la resistencia ambiental, como con la capacidad de carga (k).

Una vez que las poblaciones alcanzan su capacidad de carga, se generan **fluctuaciones** en la densidad de la población.



**2.8.1 Fluctuaciones estacionales:** Controladas por factores extrínsecos, es decir del medio ambiente, especialmente de tipo climático y que están fuera del alcance de la población o de reacciones de la misma

**2.8.2 Fluctuaciones anuales o seculares:** Fluctuaciones o variaciones entre las cuales median períodos de uno o más años y dependen de dos tipos de factores:

- Factores independientes de la densidad (extrínsecos)
- Factores dependientes de la densidad (intrínsecos)
  - Intraespecíficos (Competencia, estrés)
  - Extraespecíficos (Depredación, parasitismo)

## 2.9 Tamaño y densidad poblacional

### Factores reguladores de la densidad y fluctuaciones poblacionales:

1. En ecosistemas inmaduros, limitantes o con baja diversidad y poblaciones de organismos pequeños, los factores extrínsecos son de mayor importancia en las fluctuaciones
2. En ecosistemas **diversificados**, **poco limitantes** y en poblaciones de organismos mayores, los factores **intrínsecos** serían de mayor importancia
3. Las poblaciones **evolucionan hacia la autorregulación** ya sea gracias a la acción propia sobre sí misma o bien, por acciones recíprocas entre dos poblaciones (depredador-presa; parásito-huésped).
4. Los factores **independientes** de la densidad originan variaciones enérgicas de ésta
5. Los factores **dependientes** de la densidad tienden a **estabilizarla** a lo largo del tiempo (**Homeostasis ecológica**).

### 2.9.1 Densidad

Propiedad de la población que se define como el número de individuos por unidad de área o de volumen Ej. 12 huemules/km<sup>2</sup>

Afectada por:

1. Mortalidad y natalidad.
2. Migración y emigración.
3. Factores limitantes del hábitat.
4. Eficiencia ecológica de las poblaciones de la comunidad.
5. Relaciones intra e interespecíficas en especial competencia, depredación y parasitismo.

$$r = (N+I) - (M+E)$$

r: densidad poblacional

N: Natalidad

M: Mortalidad

E: emigración

I: Inmigración



, donde el **CRECIMIENTO POBLACIONAL** es el aumento o disminución del número de individuos que constituyen una población.

Las poblaciones tienen una **tasa de nacimiento** (número de crías producido por unidad de población y tiempo), una **tasa de mortalidad** (número de muertes por unidad de tiempo) y una **tasa de crecimiento**.

El principal agente de crecimiento de la población son los nacimientos, y el principal agente de descenso de la población es la muerte

### ***Estimadores de la densidad***

- Densidad absoluta: n° de individuos u observ. en espacio total
- Densidad ecológica: n° indiv. por unidad de habitat o de espacio disponible para ser habitado
- Abundancia absoluta: n° absoluto de individuos de la misma especie en un lugar y un tiempo determinados
- Abundancia realtiva: proporción de individuos (%) por muestra o relativa al tiempo
- Frecuencia de aparición: % de muestras ocupadas por una especie. Se puede usar junto con abundancia.

### Técnicas cuantificación densidad

- Cuentas totales: animales grandes, visibilidad; o agrupaciones/grandes colonias
- Muestreo por cuadrantes: conteo / cuadrantes o transectos de tamaño apropiado
- Marcado y recaptura: proporción marcados en recaptura equivale a población total

### **2.9.2 Natalidad**

La natalidad es la producción de individuos nuevos, independiente del modo en que ocurra (germinación, eclosión, vegetativo, nacimiento, etc).

### ***Estimadores de la natalidad***

- Tasa de natalidad: n° de descendientes producidos por cabeza de población, por unidad de tiempo.
- Natalidad máxima, absoluta o fisiológica: es la máxima producción de individuos nuevos, teórica, sin restricciones ecológicas y es un valor constante para cada población.
- Natalidad ecológica o real: se refiere al incremento de la población en condiciones ambientales reales o específicas. No es valor constante, variando según condiciones ambientales, tamaño población, composición etárea, etc.

En general la natalidad se expresa como tasa

- tasa natalidad : n° indiv. nuevos /unidad de tiempo
- tasa natalidad específica : n° indiv. nuevos /u. tiempo /u. pobl.

### **2.9.3 Mortalidad**

Se refiere a la muerte (cuantificada numéricamente) de individuos de una población. La mortalidad puede ser expresada como n° individuos muertos en período determinado o como tasa específica en relación a unidades de la población total o cualquier parte de la misma.

***Estimadores de la mortalidad:***

- Mortalidad mínima o teórica: valor constante, condiciones ideales o no limitantes.
- Mortalidad ecológica o real: mortalidad en condiciones específicas y que pueden ser variables según población y factores ambientales presentes
- Mortalidad específica. La mortalidad varía mucho con la edad, como también sucede con la natalidad . En organismos superiores las mortalidades específicas, es decir, la mortalidad en cada una de la etapas de la vida son de enorme interés para determinar las fuerzas que gobiernan la mortalidad de la población.

Mortalidad y edad. Si registramos todos los componentes o integrantes de una población en un área determinada (siempre y cuando no se presenten in- o emigración), obtendremos una distribución etárea característica, en que: los individuos jóvenes están en mucho mayor cantidad que los individuos viejos. La supremacía numérica de los jóvenes es tanto más alta cuanto mayor sea la tasa reproductiva de la población. La mortalidad en este caso no se presenta de igual forma o intensidad en el transcurso de la vida, sino que los individuos jóvenes presentan una mucho mayor mortalidad.

**Dinámica de la población**

- 2.10 Consideraciones
  - 2.11 Crecimiento
  - 2.12 Dispersión
  - 2.13 Migración
- 

**Consideraciones fundamentales:**

1. Las poblaciones no están compuestas por individuos idénticos.
2. Hay dos variables fundamentales que distinguen a los individuos en las poblaciones: el ***sexo*** y la ***edad***.
3. La relación de sexos de una población afectará claramente a la tasa potencial de reproducción y puede afectar a las interacciones sociales en muchos vertebrados.
  - Los factores ecológicos (bióticos y/o abióticos) afectan de manera distinta a individuos con edades diferentes.
  - Incluso las tasas de reproducción, dispersión y muerte varían con la edad.
  - Por lo tanto, la estrategia de estudio de una población depende de características morfológicas e *historia de vida* de la especie que estemos investigando, de su relación de sexos y de cómo se distribuye espacialmente en el territorio.

## Crecimiento poblacional

La población es una entidad cambiante, incluso cuando la comunidad y el ecosistema parecen inalterados. La densidad, natalidad, supervivencia, estructura de edades, etc. están en constante movimiento de acuerdo a los cambios ambientales y de las relaciones entre sí.

Así en muchos casos es más interesante conocer en determinado momento por ej. la manera en que cambia la población y la velocidad de dicho cambio que el tamaño o la composición de la población.

Así  $N$  representa el nº de organismos y  $\Delta N$  el cambio en el nº de organismos

Tasa de crecimiento:  $\Delta N / \Delta t =$  velocidad promedio de cambio en  $t$  del nº de organismos por u. de tiempo.

Tasa de crecimiento específico:  $N/N \times t$  que es velocidad promedio de cambio en el nº de organismos por tiempo por organismos. Si se lo multiplica por 100 se tiene la tasa de crecimiento porcentual.

$dN/dt =$  velocidad (tasa) de cambio (variación) en el nº de organismos por tiempo en un momento determinado.

$dN/Ndt =$  veloc. de cambio en el número de organismos x tiempo x individuos en un momento dado.

**Tipo de crecimiento.** Las poblaciones tienen moldes característicos de crecimiento o de incremento. Existen dos patrones básicos basados en curvas aritméticas de crecimiento:

- Tipo de crecimiento en J (crecimiento exponencial)
- Tipo de crecimiento SIGMOIDE (crecimiento logístico)

estas dos formas contrastantes se combinan y/o modifican para ajustarse a las características de la población.

- Crecimiento exponencial o curva en J: la densidad se incrementa con rapidez en forma exponencial y luego se suspende en forma repentina al volverse efectiva la resistencia ambiental o algún otro factor que se presente de modo más o menos abrupto.

Esta forma puede ser representada por un modelo simple basado en ecuación exponencial:  $dn/N$  con límite definido sobre  $N$ .

- Crecimiento logístico o curva sigmoide: la población se multiplica con lentitud al principio (fase de establecimiento o aceleración positiva), luego lo hace con rapidez, aproximándose en ocasiones a la fase logarítmica, pero pronto vuelve a hacerse lenta conforme se eleva la resistencia ambiental (fase de aceleración negativa), hasta que se alcanza equilibrio, punto en que se mantiene la población.

**Fluctuaciones y oscilaciones.** Cuando las poblaciones completan su crecimiento, esto es  $N/t = 0$  durante tiempo prolongado, la densidad y tamaño de la población tiende a fluctuar por encima o por debajo del nivel estable, incluso en poblaciones sujetas a diversas formas de control por retroalimentación.

Con frecuencia las fluctuaciones son el resultado de cambios estacionales o anuales en la disponibilidad de recursos o pueden ser aleatorias. Sin embargo algunas poblaciones oscilan de modo tan regular que pueden clasificarse como cíclicas.

**Fluctuaciones estacionales.** Controladas por factores extrínsecos, esto es del medio ambiente, especialmente de tipo climático y que están fuera del alcance de la población o de reacciones de la misma.

**Fluctuaciones anuales o seculares.** Fluctuaciones o variaciones entre las cuales median períodos de uno o más años y dependen de dos tipos de factores:

- Factores independientes de la densidad (extrínsecos)
- Factores dependientes de la densidad (intrínsecos)

Dentro de los factores intrínsecos, a su vez éstos se pueden subordinar en extraespecíficos (depredación, competencia, etc) e intraespecíficos (estrés, competencia intraesp. etc.)

Las fluctuaciones por factores extrínsecos no son regulares y pueden darse en cualquier momento. Diversos factores ambientales pueden actuar para que se produzcan como por ej. factores climáticos, incendios, terremotos etc.

Las variaciones debidas a factores dependientes de la densidad, generalmente son denominados CICLOS, ya que parecen obedecer a pauta de variación regular. Se han estudiado ciclos, principalmente en poblaciones de mamíferos y se han determinado algunos patrones en años. Ej. liebre ártica 9-10 años; lemmings 3-4 años y correspondiente depredador.

Teorías sobre la aparición de los ciclos: (1) factores climáticos exclusivamente; (2) variaciones al azar dentro del ecosistema; (3) factores tróficos del ecosistema; (4) factores adaptativos propios de la población. Otro grupo de teorías sobre el origen de los ciclos, postula que éstos se deberían a factores intrínsecos intraespecíficos como el stress o desorden poblacional entre otros.

Sobre la regulación de la densidad y sobre el problema de las fluctuaciones existe aun mucho por investigar, sin embargo como conceptos generales se pueden mencionar cinco premisas:

- 1) En ecosistemas inmaduros o muy limitantes o bien con baja diversidad y en poblaciones de organismos pequeños, los factores extrínsecos adquieren mayor importancia en las fluctuaciones.
- 2) En ecosistemas diversificados, poco limitantes y en poblaciones de organismos mayores, los factores intrínsecos serían de mayor importancia.
- 3) Al parecer todas las poblaciones evolucionan hacia la autorregulación ya sea gracias a la acción propia sobre sí misma o bien, por acciones recíprocas entre dos poblaciones (adapt. depredador-presa; parásito-huésped).
- 4) Los factores independientes de la densidad originan variaciones enérgicas de ésta.
- 5) Los factores dependientes de la densidad tratan/tienden a estabilizarla a lo largo del tiempo.

**Distribución etérea en la población.** La distribución de edades en forma simple puede expresarse en tres edades ecológicas, a saber: prerreproductiva - reproductiva y posreproductiva. La duración de c/u de estas etapas varía según los organismos.

## DISPERSIÓN Y DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL

### Dispersión

- Migración
- Vagilidad

### Distribución

#### Métodos determinación tipo distribución

#### Factores que inciden sobre la distribución

#### Principio de Alle

#### Area vital y territorio

#### Agrupaciones sociales

---

- **Dispersión.** Traslado no accidental de individuos hacia o fuera de un área o población, habitualmente a una distancia relativamente corta y de naturaleza más o menos regular (migración).

- **Migración.** Movimiento de un organismo o grupo de un hábitat o lugar hacia otro; variación en el número de individuos de una población debido a la llegada o abandono de elementos de la población.

- ◆ Emigración : movimiento de un individuo o grupo fuera de un área o población
- ◆ Inmigración: llegada de nuevos individuos a la población

En general se dan 4 tipos de migración aún cuando entre ellos a veces no resulta fácil decir si es uno u otro:

- Pasiva: migración por arrastre (plancton)
- Trófica: por alimento (aves migratorias)
- Genética: para reproducción, aves migratorias, salmones
- Sobrepoblación: lemming en el ártico.

- **Vagilidad**. Una población podrá movilizarse de acuerdo a dos importantes factores: 1) Presencia de barreras o vías geográficas que impidan o favorezcan la migración y 2) Capacidad intrínseca de movimiento de la especie. El conjunto de ambos factores determina la vagilidad de una población o en otras palabras, la mayor o menor facilidad de una población para poder moverse de sus límites espaciales.

La importancia de la migración tiene un rol en tres funciones:

- a) colonización de nuevas áreas
- b) mantención del equilibrio poblacional

c) intercambio genético y especiación

**Distribución.** Patrón u ordenamiento espacial de los miembros de una población o grupo. La distribución espacial muestra dos grandes tendencias que dependen del medio y de la población misma y éstas son:

- tendencia a la agregación o gregarismo
- tendencia al aislamiento

Dependiendo de cual de las dos prima en una especie, podemos esperar para sus poblaciones tres tipos generales de distribución:

- Al azar: muy poco frecuente en forma natural. La definición de esta distribución es que en un área determinada, todos los individuos se disponen de tal forma que cada uno de ellos, tiene la misma posibilidad que el resto de estar en cualquier punto de dicha área. Esta forma sólo se ha encontrado en algunas poblaciones de arañas.

- Uniforme. Esta distribución es un poco más frecuente que la anterior y básicamente consiste en que los individuos están dispuestos unos de otros a distancias semejantes. Esta forma de distribución está indicando una repartición del hábitat, lo que implica un comportamiento de territorios y por ende competencia.

- Agregada. Es la distribución más corriente en la naturaleza y consiste en la formación de diversos grupos no siempre del mismo tamaño, que se reparten el hábitat. También esta distribución puede disponer sus grupos al azar o bien uniformemente.

Es tarea nada fácil lograr determinar la distribución de los individuos de una población, conociendo de antemano que ésta puede darse de diferentes formas. Debido a ello los métodos son distintos sobretodo cuando se quiere relacionar densidad con distribución, cosa que frecuentemente es necesaria para el mejor conocimiento de una población. Ejemplos población conejos, liebres u hormigas.

**Métodos determinación tipo distribución.** Para conocer la forma de distribución existen diferentes métodos.

1) Comparación de la frecuencia de ocurrencia de grupos de diversos tamaños con una Serie de Poisson que muestra la frecuencia teórica en que se encontrarán grupos de tamaños diferentes, siempre y cuando su distribución sea al azar. De tal forma que coincidiendo ambas frecuencias se puede afirmar que se tiene una agregación al azar.

2) Comparación de la varianza y de la media de distribución. Si existe una distribución al azar, la media será semejante a la varianza. Si la varianza es mayor entonces se tiene agregación. En cambio una varianza menor indica cierta uniformidad de distribución.

3) Relación entre raíz cuadrada de la distancia y frecuencia. Si al graficar la raíz cuadrada de la distancia con la frecuencia de los individuos se obtiene una curva normal, la distribución es al azar.

**Factores que inciden sobre la distribución.** En general, la disposición para la distribución agregada variará según las especies y las condiciones del medio, dándose como respuesta a las diferencias

de hábitat (podemos esperar distribución diferente si comparamos bosque con desierto, pradera con bosque, etc.) y al comportamiento de la especie.

Los factores de mayor importancia sobre la distribución se pueden agrupar:

Factores físicos: climáticos, hábitat simple o complejo, geográficos

Comportamiento: tipo de reproducción, organización social, comportamiento agresivo.

**Principio de Alle.** Principio que especifica que la densidad de una población varía de acuerdo con la distribución espacial de los individuos (grado de agregación) y que tanto la sobrepoblación como la falta pueden hallarse bajo los niveles óptimos y constituirse en un factor limitante para la población.

**Area vital y territorio.** No todas las poblaciones muestran distribución agregada, sino más bien sus individuos denotan cierto grado de aislamiento. Esto no quiere decir que los individuos se constituyan en entes solitarios, sino que debido fundamentalmente al hecho de la existencia de recursos limitados, alimento, espacio, refugio, tienden a separarse para un mejor uso de estos recursos. Así tenemos que la respuesta a la competencia por dichos elementos es el comportamiento territorial.

El aislamiento se da en dos formas:

- ◆ Area vital: consiste en un área donde el individuo realiza todas las funciones biológicas, pero que se sobrepone normalmente con las áreas que ocupan sus vecinos.
- ◆ Territorio: es un área que posee tres requisitos fundamentales: 1) área fija; 2) exclusiva y 3) es defendida. La defensa puede manifestarse por conducta propiamente agresiva, es decir con peleas y actos de dominancia o bien por marcaje con sustancias secretadas por glándulas ubicadas en diversas partes del cuerpo o con heces.

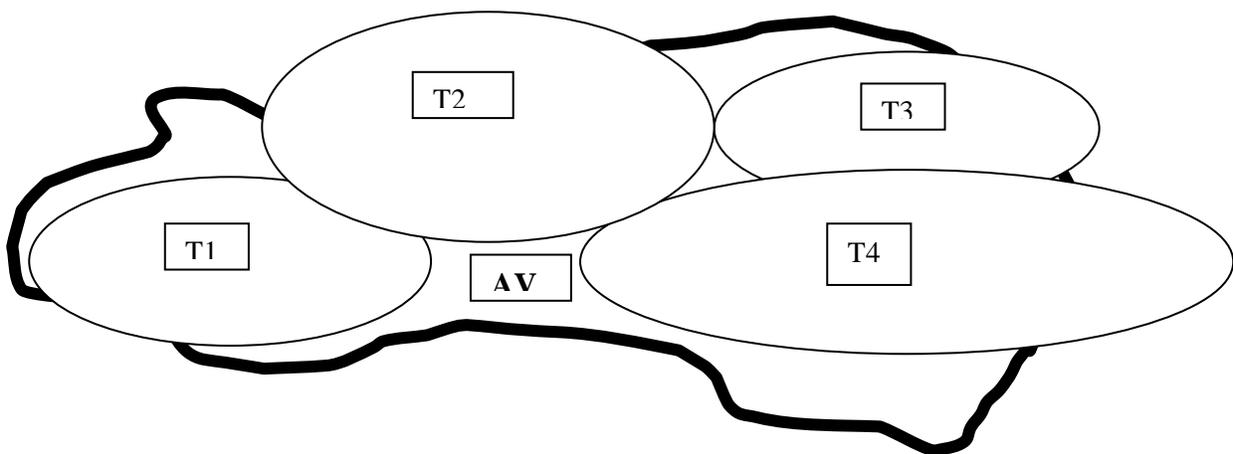


Figura: territorio y área vital. T= territorio T1; T2 ;T3 y T4 y AV es área vital de individuos o grupos 1, 2, 3 y 4

El territorio permite un mejor y más sostenido uso de los recursos. En un área de amplios recursos especialmente nutrientes, se produce una rápida colonización con individuos con grandes territorios que luego con el aumento de la población, disminuye en tamaño a causa de la competencia entre individuos.

Los individuos que no han logrado establecer territorio ocupan el área circundante que es más pobre y que soporta menos individuos. Los restantes sin territorio forman una población flotante que no se establecen y que tampoco llegan a reproducirse por lo cual el sistema territorial está controlando la densidad.

Si algún individuo del área más rica emigra o muere, este lugar es rápidamente colonizado por individuos del área más pobre y este espacio es a su vez ocupado por un individuo flotante. Así los recursos no son desperdiciados.

Fundamentalmente la función del territorio parece ser la de controlar la densidad y además muestra varias **ventajas** generales sobre la:

- reproducción: asegura nido o sitio; mantiene a las parejas; favorece las relaciones reproductoras
- alimentación: familiariza con los recursos; asegura dichos recursos
- depredación: familiariza con el terreno, ayudando al escape, distribución uniforme hace la depredación más uniforme.

**Agrupaciones sociales.** La organización social de los individuos en la población ayuda a visualizar y entender otros aspectos relacionados con la densidad y la distribución o con territorios.

En términos generales para mamíferos se pueden mencionar las siguientes formas de agrupación social:

- Organización simple: individuos solitarios, escasa en naturaleza.
- Grupos unisexuales: en algunas épocas del año se agrupan individuos del mismo sexo: gr. machos lobos marinos, bisontes, guanacos; gr. hembras. algunos monos, cetáceos
- Familias: establecimiento de la pareja con sus crías: hombre, lobos, primates etc.
- Harems: un macho con varias hembras. Ej: Permanentes: Llama; hombre. Estacionales: ciervos, lobos marinos, guanaco
- Hatos: Generalmente se juntan machos y hembras en período de celo y los machos establecen jerarquías: cabras, bisontes.

## CAPITULO 3 ECOLOGÍA DE COMUNIDADES

### 3a Introducción a la ecología de comunidades

#### 3.1 Generalidades

#### 3.2 Interrelaciones

---

**Generalidades.** En cualquier ecosistema, todas las poblaciones existentes muestran algún grado de relación entre sí. Así por ejemplo, es posible observar diferentes poblaciones de ratones que se alimentan de los mismos nutrientes o bien que tienen hábitos semejantes. Sin embargo, existen mecanismos que les permiten sobrevivir en conjunto (competencia, territorios, etc.). En los invertebrados y en vegetales también se presentan situaciones similares. Todas las poblaciones de una comunidad muestran siempre cierta asociación en mayor o menor grado.

Estas coacciones o relaciones interespecíficas influyen fundamentalmente en el crecimiento y desarrollo de las especies interactuantes, sea en forma positiva o negativa, estableciendo el principio que cualquiera sea el efecto sobre una o ambas el resultado redundará /influirá en una mayor estabilidad del sistema (equilibrio). No obstante, es necesario destacar tres principios que se pueden aplicar a relaciones interespecíficas:

1. Las interrelaciones negativas tienden a predominar en las comunidades pioneras o en condiciones perturbadas. Generalmente en estos casos la selección  $r$  contrarresta la elevada mortalidad.
2. Durante la evolución y desarrollo de los ecosistemas, las interacciones negativas tienden a reducirse al mínimo en favor de relaciones positivas que incrementan las posibilidades de supervivencia de las especies interactuantes.
3. Es más probable que las asociaciones recientes o nuevas presenten coacciones negativas severas que las asociaciones con cierta edad.

**Tipos de relaciones.** Las interrelaciones se pueden clasificar de acuerdo al efecto producido en las poblaciones según sea el signo que añadan a la ecuación de crecimiento poblacional, es decir en positivas negativas o neutras. Cuando una o ambas poblaciones se ve favorecidas por la relación se añade el término positivo y cuando una de ellas, al menos, se ve menoscabada en su desarrollo el término es negativo. Esto es una mera abstracción, no siempre se cumple y se hace con un fin didáctico.

Una clasificación de las interrelaciones en negativas o positivas o neutras queda como sigue:

- Positivas : comensalismo, protocooperación; mutualismo.  
Negativas : competencia; amensalismo; depredación; parasitismo  
Neutras : neutralismo

1. Neutralismo
2. Comensalismo
3. Protocooperación
4. Mutualismo
5. Parasitismo
6. Depredación
7. Competencia
8. Amensalismo

(Nota: definiciones de acuerdo a Lincoln *et al.* 1995)

**Simbiosis.** La vida en común de dos organismos; relación entre dos organismos o poblaciones interactuantes, algunas veces restringida a aquellas asociaciones que son mutuamente beneficiosas; simbiote.

**Neutralismo.** Asociación entre dos especies en que la dinámica de cada población no se ve afectada por la presencia de la otra; ausencia de cualquier interacción entre dos poblaciones asociadas; asociación neutral.

**Comensalismo.** Simbiosis en la que una especie se beneficia de una provisión común de comida, hábitat o sustrato, mientras que la otra especie no se ve afectada de manera adversa; comensal. Es una relación continua o transitoria y siempre facultativa.  
Ej. Epífitas; cangrejos; E. coli



Fig. Epífitas, líquenes (*Usnea* sp.= barba de viejo) sobre lenga en Magallanes

**Protocooperación.** Simbiosis facultativa en la que ambos simbiotes se benefician más o menos igualmente; cooperación.  
Ej. perro-hombre; hormigas y cultivo hongos

**Mutualismo.** Simbiosis en la que ambos organismos se benefician, con frecuencia en una relación de dependencia total; asociación interdependiente; sinergismo . La ausencia de una especie implica la muerte de la otra.

Ej. Líquenes; flora bacteriana rumen ungulados; micorrhizae, polinización específica.

- Mutualismo de polinización aves e insectos (clases)
- Mutualismo dispersión aves y mamíferos en bosque chileno (clases)



**Parasitismo.** Simbiosis obligatoria entre individuos de dos especies diferentes, en la que el parásito depende metabólicamente del huésped y en la que este último se ve afectado, pero que sólo rara vez muere; parasitosis.



Figura. Parásitos sobre vegetales. *Mizodendrum* sp sobre ñirre y derecha *Cittaria* sp sobre coihue.

**Depredación.** Consumo de un animal (presa) por parte de otro (depredador); también se emplea el término para incluir el consumo de plantas por parte de los animales y el consumo parcial de un organismo presa grande por un depredador más pequeño (microdepredación). Es un factor intrínseco extraespecífico de control de la densidad de una población (presa).

Aspectos teóricos de la depredación:

- Siempre que exista una interacción depredador-presa, habrá tendencia a que se produzcan ciclos, cuyo período variará dependiendo del potencial biótico de cada especie y de las densidades iniciales.
- Habría una densidad media depredador-presa que tendería a mantenerse.

Densidad y depredación: la densidad de ambas poblaciones es el **principal** factor de esta interacción. Otros factores incluyen nivel de búsqueda; tiempo de exposición de la presa; tiempo de manipuleo; hambre.



Figura. Puma caza guanaco en P.N. Torres del Paine, abril 2000

**Importancia biológica de la depredación:**

1. La depredación provee de las principales rutas para el paso de la energía en un ecosistema.
2. Permite la evolución y selección natural de muchas especies de plantas y animales, favoreciendo la diversidad ecológica.
3. Es un factor regulador de la densidad poblacional a nivel de gran número de especies.



**Competencia.** Demanda simultánea por parte de dos o más organismos o especies de un recurso común.

La competencia afecta al crecimiento, desarrollo y supervivencia de la especie en coacción y su efecto final se puede traducir en dos fenómenos:

- ❖ se origina un ajuste de equilibrio, realizándose la coexistencia
- ❖ se origina una sustitución de una especie por la otra en el nicho. La especie desplazada debe readaptarse o desaparecer.

La competencia **intraespecífica** se presenta bajo dos aspectos generales:

- ◆ Interferencia: es una competencia directa por un recurso limitado. Generalmente se trata de un problema espacial.
- ◆ Explotación: es una competencia indirecta, donde no hay un enfrentamiento propiamente tal, pero ambas especies explotan el recurso (ej. el pasto de una pradera)

Principio de Gause o principio de exclusión competitiva: dos especies con las mismas necesidades ecológicas no pueden coexistir indefinidamente en el mismo lugar; esto es, que son incapaces de formar poblaciones estables si ocupan el mismo nicho (Lincoln *et al.*, 1995)

Los efectos de la competencia en general son:

- a) efecto negativo inicial sobre el crecimiento de las especies
- b) restringe a las poblaciones en cuanto a su distribución geográfica
- c) tiende a especializar a las poblaciones, sobreponiendo especies muy relacionadas ecológicamente.
- d) diversifica los caminos de la energía, aumenta los nichos ocupados y hace más complejos los ecosistemas.

**Amensalismo.** Interacción específica en la que la población de una especie es inhibida, generalmente por toxinas de otra especie, la que no se ve afectada.  
teletoxia, alelopatía, antibiosis.

## CAPITULO 3 (b)

### Ecología de comunidades

- 3.3 Habitat
  - 3.4 Nicho
  - 3.5 Gremio
  - 3.6 Equivalentes ecológicos
- 

### HABITAT

El hábitat de un organismo es el lugar -en su sentido geográfico- donde vive o donde se le puede encontrar. Localidad, sitio y tipo particular de medio ambiente local ocupado por un organismo.

Por medio de la descripción del hábitat se le puede indicar a alguien dónde puede ir a observar o a buscar un organismo dado.

Hábitat parcial: Hábitat ocupado por una planta sólo durante una fase de su ciclo de vida.

## NICHO

El nicho está constituido por las variables como Tº, humedad, pH, energía, alimento, interferencias etcétera, que explican diferencias de distribución y abundancia de un organismo determinado. Se refiere tanto al espacio físico como al papel funcional de la especie.

El nicho ecológico de un individuo o especie no sólo depende de donde viva, sino además de la suma total de sus necesidades ambientales.

Las dimensiones que se cuantifican con mayor frecuencia son:

**a.- Amplitud de nicho:** término que se utiliza , dentro del contexto de nicho como un espacio multidimensional, para indicar los límites superior e inferior de un parámetro dado (un eje del hiperespacio), es decir, el intervalo de cualquier factor dentro del cual puede funcionar la especie. La amplitud de nicho es inversamente proporcional a la especialización de un organismo. No hay generalistas absolutos en todas las dimensiones.

**b.- Nicho alimentario:** posición de un organismo dentro de una red alimentaria.

**c.- Nicho fundamental:** Espacio multidimensional que representa el intervalo total de condiciones dentro de las que puede funcionar un organismo y que podría ocupar en ausencia de competidores u otras especies interactuantes.

**d.- Traslape de nicho:** Competencia directa por un recurso dado entre dos o más especies; dentro del contexto del nicho como espacio multidimensional, ocurrencia de dos o más nichos a lo largo de todo el eje del mismo recurso o sólo en parte de éste.

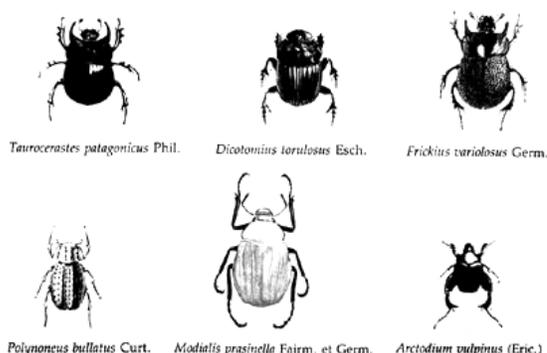


Figura. **Nicho alimentario.** Diversos scarabidae que ocupan nichos alimentarios discímiles. (pg.132; Peña



Figura. **Traslape de nicho.** Curculiónidos con hábitos y dietas +-similares

e.- **Nicho realizado**: parte del nicho fundamental ocupada realmente por una especie en presencia de especies competitivas o interactivas.

Frecuentemente coexisten entre 3-5 especies, cuyas presencias y abundancias pueden ser explicadas a través de dos dimensiones de nicho: (1) el tipo de presas y (2) las clases de substratos sobre los cuales cazan (suelo, rocas, árboles).

### **GREMIO**

Grupo de especies que tiene necesidades de recursos y estrategias de forrajeo similares y que por lo tanto desempeñan papeles similares en la comunidad.

### **EQUIVALENTES ECOLÓGICOS**

Especies no relacionadas o lejanamente relacionadas que desempeñan papeles ecológicos similares en distintas comunidades o áreas geográficas.

Ej. Ñandú -emú -avestruz/ Bisonte-Guanaco-Gacelas

### **DIVERSIDAD**

El concepto expresa la variedad relativa de especies e individuos en un lugar y consta de dos partes: (1) Riqueza y (2) Uniformidad.

#### ***(1) Riqueza***

Se basa en el número total de especies presentes . También llamada densidad de especies.

Es la riqueza, variedad o densidad de especies y se refiere simplemente al número total de especies y suele expresarse como una proporción de especies/área o número de especies/número de individuos.

Tanto la diversidad del hábitat como el tamaño del área en sí, son responsables del incremento del número de especies, ej. Parque Nacional.

#### ***(2) Uniformidad***

Se basa en la abundancia relativa de la especie y su grado de dominancia o ausencia de la misma. Es la uniformidad o equidad en la distribución de organismos.

Ejemplo:

Dos ecosistemas en que c/u tiene 10 especies y un total de 100 individuos.

El Índice de Riqueza o riqueza es idéntico en ambos casos ( $n^{\circ}$  esp./ $n^{\circ}$  individuos), pero pueden ser muy diferentes en Uniformidad según la distribución de los 100 individuos:

caso a) 91,1,1,1,1,1,1,1,1 y 1

caso b) 10,10,10,10,10,10,10,10,10 y 10

En el caso a) la uniformidad es mínima y la dominancia máxima y en el caso b) la uniformidad es perfecta y la dominancia nula.

Hay distintas fórmulas para calcular el índice de diversidad, uno de los más empleados es el de SHANON

$$H_S = - \sum p_i \times \ln p_i$$

donde: H = índice de Shanon  
s= número de especies  
pi = la abundancia relativa/área de c/especie

La diversidad específica es directamente proporcional al tamaño del área e inversamente proporcional a la latitud. La diversidad disminuye en comunidades sometidas a estrés o por competencia (por exclusión) en comunidades viejas en ambientes físicos estables.

### Ecosistemas Terrestres de Chile.

La cualidad más relevante del ecosistema estriba en su independencia energética, su autarquía, ya que se conjugan en el marco de esta categoría ecológica todos los eslabones necesarios para constituir un ciclo energético completo. El ecosistema representa la unidad de convivencia energéticamente autárquica más pequeña. Por debajo de este lugar en el escalafón no se encuentran combinaciones de organismos y ambientes capacitadas para desarrollar un ciclo completo de transferencias energéticas.

Sin embargo es posible construir, en un plano abstracto, unidades ecológicas superiores de mayor cuantía. Es así como se agrupan todos los ecosistemas de estructura y organización semejante bajo el concepto de "**bioma**", término propuesto por el ecólogo vegetal norteamericano Clements en 1916.

Un bioma es una comunidad de plantas y animales con formas de vida y condiciones ambientales similares e incluye varias comunidades y estados de desarrollo. Se nombra por el tipo dominante de vegetación; sin embargo, el complejo biológico designado bajo el término de bioma engloba también al conjunto de organismos consumidores y detritívoros del ecosistema. El conjunto de todos los biomas viene a integrar por último la biosfera.

Los ecosistemas chilenos se agrupan en **cuatro biomas**:

- 1- **Bioma de Montaña**
- 2- **Bioma de Desierto y Estepa**
- 3- **Bioma de Sabana**
- 4- **Bioma de Selva**

### 1. Bioma de montaña:

Ampliamente representado por todo el cordón montañoso de la cordillera de los andes, englobando a diferentes unidades comunitarias en diversos cinturones altitudinales, independiente de la elevación de la formación montañosa.

El **Estrato o cinturón basimontano** rodea el pie de la elevación topográfica. Este hábitat no se influencia directamente por la montaña, sino obedece a cambios macroclimáticos del sector. Este tipo de ecosistemas concuerdan con los de otros biomas, ya sea sabana, estepa o selva.

A medida que aparece la inclinación, y por sobre todo otros factores como la exposición cardinal de la ladera, comienza una presión selectiva sobre la flora y fauna del cinturón basimontano, correspondientes a cambios microclimáticos. Estas nuevas comunidades se agrupan dentro de los ecosistemas del **Estrato Premontano**, representan a comunidades basimontanas simplificadas o tamizadas condicionada por la exposición de la ladera, además de la latitud, que condicionan en gran medida los factores limitantes reinantes.

Las montañas más altas que exceden el nivel premontano, poseen influencias de cinturones climáticos caracterizados por combinaciones de factores que le confieren características propias, a manera de barrera selectiva para el establecimiento de flora y fauna. Este nuevo sistema comunitario es colonizado por individuos de ambos estratos anteriores se subdivide en el **Estrato Montano Bajo y Altimontano** (Fig. 1).

Las comunidades montanas bajas, están determinadas latitudinalmente, caracterizándose comúnmente por la mayor humedad o disponibilidad de agua. En este estrato destacan comunidades boscosas de pocarpáceas, araucarias y caducifolias (*Nothofagus* spp.) de los Andes australes.

El ecosistema altimontano se ajusta a factores particulares como: baja presión barométrica y densidad atmosférica, gran oscilación térmica, vientos violentos y presencia en menor o mayor grado de nieve/hielo.

El hábitat altoandino, se organiza en cuatro sectores diferentes:

- a. Páramo: 1.000 mm de lluvia anual (entre paralelos 10° N y 18° S)
- b. Puna húmeda: 500 -1.000 mm (10° a 18° S)
- c. Puna seca: 250-500 mm (18° a 38° S)
- d. Puna desértica: 250-300 mm (entre 17° - 31°S)

La temperatura es otro factor importante. En el sistema altoandino se distingue por valores medios bajos (6 a 9° C) con una variación estacional pequeña (7 a 8°C), además la temperatura desciende 0.5°C cada 100m. La oscilación térmica diaria puede ser tan violenta de variar 30°C en 24hrs. lo que condiciona rigurosos horarios para la flora y fauna, sobre todo poiquiloterma (ej. Mosca de las flores (Syrphidae) y algunos coleopteros). Algunas aves, como el picaflor cordillerano, presentan un estado de sopor durante las frías noches andinas.

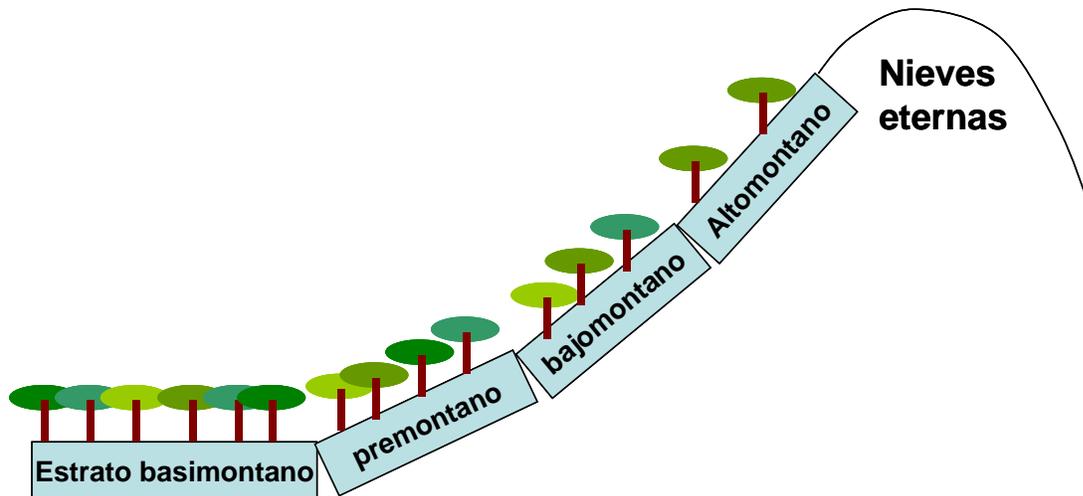


Fig.1. esquema idealizado de bioma de montaña, donde solo algunas especies del estrato basimontano pueden adaptarse a los estratos superiores.

## 2. Biomas de Desierto y Estepa.

Ambos biomas presentan diferentes condiciones de aridez. En el caso de los **desiertos verdaderos** las precipitaciones son nulas durante los 12 meses, lo que los caracteriza por la incapacidad de constituir ecosistemas autosuficientes debido a la falta de productores vegetales permanentes. Los desiertos ocupan una franja de 20 a 150 km de ancho desde 3º 5' y 27º S

Las estepas representan la quinta parte de la superficie de Sudamérica con mayor desarrollo al este de los Andes cercano a los 30ºS. Posee un régimen anual de pluviometría entre 25-300mm con 5 meses húmedos en los lugares más favorecidos. Está determinada por arbustos bajos generalmente caducifolios y gramíneas en forma de mechón como el coirón.

En muchos ecosistemas esteparios la distribución de las lluvias es muy desigual (5 a 1500 mm). Los organismos se adaptan a las condiciones mínimas de humedad, por lo que grandes lluvias pueden ocasionar grandes trastornos a la sobrevivencia de los individuos. En algunos casos la elevada pluviosidad de años "anómalos" puede desencadenar efectos impresionantes en la composición sobre todo botánica. Tal es el caso del llamado desierto florido, que además desencadena el rápido desarrollo de organismos fitófagos y zoófagos.

## 3. Bioma de Sabana

La estructura de la sabana se caracteriza por un estrato de herbáceo principalmente anual y árboles o arbustos altos distanciados unos de otros sin que sus copas se superpongan. Esta última característica de dosel beneficia el paso de luz solar que permite el desarrollo del característico estrato herbáceo.

Las sabanas corresponden a la 3ª parte de Sudamérica, distinguiéndose tres tipos de ellas, Sabanas espinosas, secas (extratropicales y tropicales) y húmedas.

El régimen de lluvias puede ir desde 4 meses húmedos (sabanas secas y espinosas) hasta 9 meses en el caso de sabanas húmedas. La temperatura media anual va de 14º C para sabanas espinosas

australes hasta los 21º C para las tropicales. Las heladas que en ella ocurren condicionan que la mayoría de la vegetación arbórea – arbustiva sea caducifolia

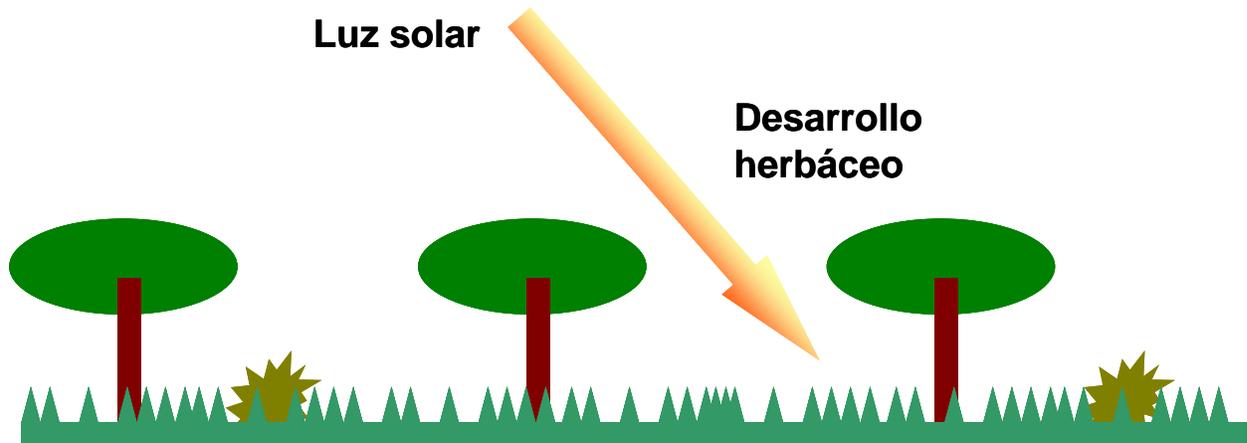


Fig. 2. Esquema de estructura vegetal de sabana que permite la penetración de luz solar directa al suelo, facilitando la aparición de vegetación herbácea.

En Chile destaca la sabana de *Acacia caven* (Espino), corresponde a una sabana espinosa de una cobertura herbácea rala, típica de la cordillera de la costa y parte de la depresión intermedia desde la IV región a VIII.

La Fauna y flora presentan adaptaciones morfológicas y funcionales para este sistema, por ejemplo la capacidad de cavar o vivir en colonias subterráneas de roedores (Ej. *Ctenomys spp.*), arácnidos, anfibios, etc. de correr a gran velocidad y poseer coloración críptica (mimética, difícil de ver) con el entorno, ambas cualidades de las perdices chilenas (*Nothoprocta perdicaria*)

Respecto a los niveles tróficos esta destaca una gran cantidad de organismos fitófagos desde grandes aves como el Ñandú a hormigas, lepidópteros y dípteros. Mientras que los consumidores de 2º orden se resumen a arácnidos, aves pequeñas, y algunos micromamíferos. Los consumidores terciarios lo componen algunas aves rapaces, reptiles como culebras y carnívoros generalmente oportunistas, debido a que las estrategias de caza no pueden ser comparadas con las de acecho realizadas por depredadores de ecosistemas boscosos.

### Bioma de Selva.

En estos sistemas las asociaciones arbóreas forman una cobertura de dosel relativamente ininterrumpida, constituyendo **los bosques**.

Un tercio de Sudamérica esta constituida por diversos tipos de bosques, agrupados en 5 categorías fundamentales:

- a. Selvas tropicales pluviales perennifloadas.
- b. Selvas templadas pluviales (perennifloadas y caducifolias)
- c. Bosques esclerófilos perennifoliados.
- d. Bosque tropicales caducifolios
- e. Manglares litorales (“bosques de agua salada”)

La existencia de bosques depende fundamentalmente de un factor limitante, representado por una cantidad mínima de lluvia anual, pero aún más significativa es la distribución de esta durante el año, por lo que se ha calculado que para mantener un bosque *siempreverde* se necesita como mínimo 1000 mm repartidos en 12 meses ó 2.200 mm en 9 meses húmedos.

Excepciones a lo anterior se encuentran en microclimas proporcionados por la concentración de neblinas que crean un microclima que hace posible el asentamiento de sistemas de bosque. Tal es el caso del Parque Nacional Fray Jorge ubicado en medio de la estepa costera, en la IV región (31° S)

Los extremos de temperatura de las selvas o bosques sudamericanos corresponde a medias anuales entre los 6 (bosques patagónicos) a 24°C (selvas tropicales). Las bajas temperaturas en los bosques australes permite la selección de coníferas, podocarpias y araucarias, resistentes a nieve y heladas, incluso en altura.

El bosque en sí, es un sistema dinámico, aunque dependiendo de la latitud en la que se encuentre experimenta determinados ciclos estacionales, por lo que pueden clasificarse en:

- 1- **Selvas o bosques sin ritmo estacional:** Aquí se encuentra la selva tropical pluvial, selva templada pluvial basimontana.
- 2- **Bosques con letargo estival, sin pérdida de hojas:** Bosques postclimáticos esclerófilos en el oeste andino ente 30 – 38° S.
- 3- **Bosques con letargo invernal y pérdida de hojas:** *Por sequía:* Selvas tropicales costeras (0 - 4° S) y bosques premontanos y montanos bajos de los Andes (20 – 27° S) y *por Frío:* Bosques pluviales australes preclimáticos.

La gran oferta de forraje ofrecido por los organismos productores de todos los ecosistemas de selva, genera una gran gama de animales fitófagos. La celulosa constituye la oferta más abundante y constante de alimento por lo que diversas formas de consumidores son atraídos, entre ellos se pueden contar una gran variedad de larvas de coleópteros, termitas (ambientes más cálidos), además de hongos y bacterias. En este nivel trófico se encuentra la diversidad más grande de Chile: insectos y hongos.

Los consumidores secundarios están representados por arañas (principalmente en zonas templadas) y hormigas (tropicales), además de anfibios, reptiles y pequeñas aves insectívoras. Cabe destacar el rol ecológico de los Pájaros Carpinteros al consumir larvas celulófagas.

Los consumidores de 3º orden o constituyen marsupiales, quirópteros, pequeños y medianos carnívoros y en el caso de selvas tropicales, algunos tipos de primates.

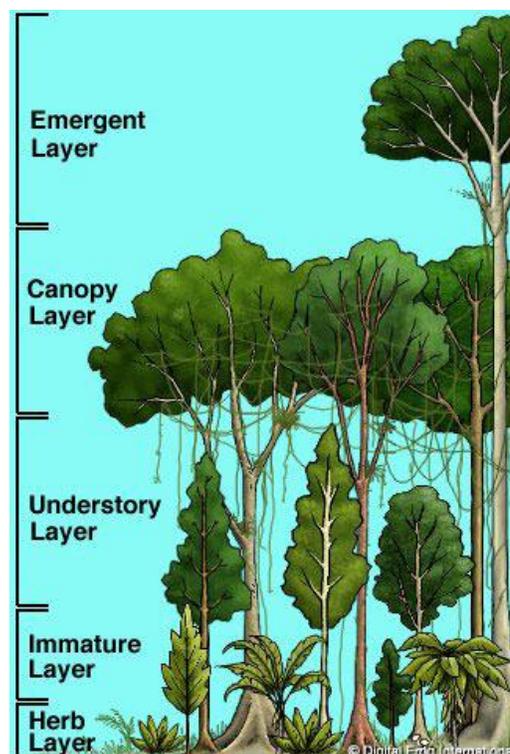


Fig. Esquema de los estratos de un bosque pluvial

### **Clasificación de Bosques Nativos Chilenos.**

La tarea de clasificar los bosques es compleja, por la gran cantidad de variables y distintos puntos de vista por las que puede describirse un bosque. La distribución geográfica y climática, composición florística, estructural y dinámica son algunos de los tópicos más importantes.

Al respecto nuestros bosques se encuentran clasificados y descritos por Donoso (1981), la cual pasó a tener carácter oficial por el Reglamento Nº 259 del Decreto Ley 701, para su conservación, uso y manejo.

Esta clasificación no indica que todos los tipos de bosques estén completamente separados sino que caracteriza los tipos forestales principales para su mejor comprensión.

Los tipos forestales de norte a sur son los siguientes.

### **Regiones ecológicas de Chile**

(Resumen del trabajo de Franceso di Castri (1968, desde Hajek E.R. 1991). Medio ambiente en Chile. En: Hajek E.R. (Editor). La situación ambiental en América Latina. CIEDLA. Buenos Aires: pp. 237-294)

### **Ambiente terrestre de Chile.**

Una de las clasificaciones más aceptadas y utilizadas es la de di Castri (1968), quien basándose en una serie de criterios, considerando aspectos del ambiente físico y biológico, establece un total de 15 regiones ecológicas, que responden principalmente a las tendencias climáticas Desértica (1), Tropical(2), Mediterránea (3), Oceánica (4), Continental (5), Polar (6).

Según lo anterior las regiones son:

1. Desértica litoral
2. Desértica interior
3. Tropical marginal
4. Tropical de altura
5. Mediterránea perárida
6. Mediterránea árida
7. Mediterránea semiárida,
8. Mediterránea subhúmeda,
9. Mediterránea húmeda,
10. Mediterránea perhúmeda,
11. Oceánica con influencia mediterránea.
12. Oceánica templado-fría,
13. Oceánica trasandina,
14. Oceánica subantártica y andina.

La isla de Pascua se asimila a un régimen de tipo oceánico cálido, no representado en el continental, el archipiélago de Juan Fernández tiene asociaciones con un régimen climático mediterráneo húmedo equivalente a la zona centro-sur del país, y la Antártica debe incluirse en un régimen de tipo polar y sub-polar.

## A. Zona de tendencia desértica

### *i) Región desértica litoral*

Un período de aridez a lo largo de todo el año, ausencia de estación fría, actividad biológica más marcada en invierno (en la parte sur de esta región), humedad relativa del aire superior a 75% y precipitaciones muy variables que en promedio fluctúan entre 0 y 15 mm caracterizan a esta región. La fisionomía vegetal es principalmente la de un semidesierto, con caméfitos, cactáceas y plantas anuales de actividad invernal, asentados sobre suelos rojos desérticos con pliegues salinos, mucho más desarrollados que en el interior.

### *ii) Región desértica interior*

Esta región muestra 12 meses áridos, con una humedad relativa que fluctúa alrededor el 50% y una baja pluviometría promedio (entre 0 y 10 mm, al año). Vegetación ausente casi totalmente en casi toda su extensión, salvo en sitios de mayor humedad; en suelos con napas freáticas relativamente superficiales, se ubican *sabanas de tamarugo* (*Prosopis tamarugo*).

## B. Zona de tendencia tropical

Se limitan a zonas de altura y banda pre-andina frente a los desiertos interiores; la diferenciación bioclimática son lluvias estivales constantes en la primera. La otra condición de tropical de elevadas temperaturas, es casi nula por el efecto de la altitud.

### *i) Región tropical marginal*

Esta región se caracteriza por lluvias de verano y una gran actividad biológica en enero y febrero. La pluviometría anual alcanza entre 50 y 100 mm. La fisionomía vegetal es la semidesértica con caméfitos y arbustos higrófilos del género *Tessaria* y *Baccharis* a lo largo de pequeños arroyos, y matas densas de gramíneas del género *Cortaderia*.

### *ii) Región tropical andina*

En esta zona la aridez se reduce a 7-10 meses, mostrando actividad vegetativa entre enero y febrero. En 9 a 10 meses, las temperaturas medias son inferiores a 10°C. La pluviometría anual oscila entre 100 a 200 mm, pudiendo en algunos sectores de puna alcanzar 300 a 400 mm. Existen formaciones vegetales de tolar, (estepas arbustivas). La vegetación es discontinua, aunque a vez densa. En la estepa andina hay dominio de gramíneas (*Stipa* y *Festuca*), formaciones más densas y continuas. El llateral está constituido por especies fuertemente leñosas y resinosas (*Laretia* y *Azorella*), único combustible de la zona, uso que ha reducido notablemente la cantidad de vegetación.

## C. Zona de tendencia mediterránea

El clima mediterráneo se caracteriza por la presencia de lluvias invernales y sequías en verano. Es una de las zonas de mayor extensión en Chile extendiéndose desde el desierto y hasta la región de tendencia oceánica. Es un área de grandes variaciones interanuales de precipitaciones.

Es posible distinguir 6 regiones dentro de la tendencia mediterránea en Chile.

***i) Región mediterránea per-árida.***

La aridez muestra un gradiente desde la costa hacia el interior (11 meses áridos en el interior y 9, respectivamente, en la costa y en la parte preandina). La humedad relativa en promedio es del 25% y la pluviometría de 25 mm. La vegetación dominante es semidesértica, con caméfitas y cactáceas que aumentan su densidad hacia el sur. En los valles costeros hay asociaciones entre *Euphorbia* sp. y cactáceas. A lo largo de los ríos hay sabanas de chañar (*Geoffroea decorticans*).

***ii) Región mediterránea árida***

Posee fisonomía más mediterránea. No existe período frío con tres o cuatro meses subhúmedos en invierno. La limitación climática está condicionada por la variación de interanuales de las lluvias, alternándose años secos y lluviosos. Existen áreas de bosques relictos de neblina en Altos de Talinay y Fray Jorge.

La fisonomía vegetal es heterogénea: desde vegetación semidesérticas hasta bosques higrófilos templados, efecto de las neblinas; en la cadena costera, la tala ha transformado la vegetación nativa (bosque esclerófilo ralo) en matorrales; el pastoreo excesivo y los cultivos permiten el crecimiento sólo de herbáceas.

***iii y iv) Regiones mediterráneas semi-árida y sub-húmeda***

En ambas zonas los factores ecológicos principales son los mismos, ya que la aridez disminuye progresivamente hacia el sur. La pluviometría anual va de 330 a 700 mm.

En relación a la vegetación, se compone por estepas arbustivas en terrazas litorales, bosques esclerófilos ralos en la cordillera de la Costa, sabanas con *Acacia caven* en la depresión intermedia, bosques esclerófilos abiertos y matorral espinoso en la zona pre-andina. En la cordillera costera hay bosques higrófilos, por acción de niebla y napas freáticas, tales como palmeras y pequeños grupos de *Nothofagus obliqua* (robles).

Las diferencias entre la región semi-árida y sub-húmeda, son la extensión creciente de las formaciones forestales y disminución de las cactáceas hacia el sur. Existen diferencias extremas de flora y fauna según la exposición de las pendientes. En el extremo sur de la zona, se observan bosques tupidos, y al norte, matorral espinoso y aún semidesértico. Desde la sabana con *Acacia caven*, se encuentran sucesivos bosques esclerófilos, formaciones higrófilas mixtas con canelos y robles, y bosques deciduos puros de *Nothofagus*.

***v) Región mediterránea húmeda***

Posee un período húmedo más prolongado. La pluviometría va desde 1.000 a 1.300 mm en la parte septentrional y meridional, respectivamente.

La fisonomía vegetal tiene diferencias con la zona central del país. En la parte septentrional de la llanura central hay una última penetración de *Acacia caven* (espino), pero en las cercanías del río Laja, hay un bosque templado húmedo. Los bosques son mixtos poseen especies como peumos (*Cryptocarya alba*), quillayes (*Quillaja saponaria*), mezclados con especies típicas valdivianas (*Nothofagus*, *Drimys*, canelo), que aumentan hacia el sur. En la zona andina hay bosques de coníferas. La parte meridional de la región (zona del río Malleco), se encuentra tierras erosionadas, debido al desmonte, cultivo de trigo sin rotación y otras. El aspecto de la

zona ha sido alterada drásticamente por numerosas plantaciones de *Pinus radiata* (pino insigne).

#### **vi) Región mediterránea per-húmeda**

Las precipitaciones anuales llegan a 1.400 mm y la temperatura alcanza valores promedio inferiores a 10°C en los meses fríos. Existen algunas áreas más secas (cerca de Osorno-Riobueno), debido a la cordillera de la Costa que produce sombra de lluvias hacia el interior.

La fisionomía vegetal está dominada por “selva valdiviana” (bosque lluvioso templado con *Nothofagus* y *Drimys*) y en la costa hay bosques de transición. En altura de la cordillera de Nahuelbuta, y de los Andes, quedan bosques de araucarias (*Araucaria araucana*) con *Nothofagus dombeyi* (coigüe), y más arriba, estepas andinas (Fig. 1).

En esta ecorregión, el bosque nativo ha sido reemplazado por terrenos de cultivo y pastoreo, y por bosques de pino.

### **D. Zona de tendencia oceánica**

Comprende todo el territorio continental austral de Chile, desde el límite sur de la zona mediterránea hasta la Patagonia, Tierra del Fuego, Isla Navarino y Cabo de Hornos. En esta zona existe un aumento progresivo del frío hacia el sur, vientos persistentes, y dificultad del drenaje. La altura de la cadena andina disminuye constantemente hacia el sur del paralelo 41° S.

#### **i) Región oceánica con influencia mediterránea**

Comienza al sur de Temuco terminando al sur de la isla de Chiloé. Las lluvias disminuyen en verano, con tres a cuatro meses sub-húmedos, y algunas condiciones secas. Pluviometría media anual entre 2.000 y 2.500 mm.

La vegetación es más homogénea que en zonas anteriores. Dominio de la “selva valdiviana”, aunque ésta toma diversas denominaciones según las características de humedad y composición botánica de especies dominantes.

#### **ii) Región oceánica templado-fría**

Comprende la mayor parte de la cordillera de los Andes, hasta la región de Aysén. Se distinguen dos grandes regiones: el archipiélago y los territorios continentales. Las lluvias promedio 2.500 a 3.000 mm por año (en algunos sectores hasta 7.000 mm). Están distribuidas a lo largo del año.

La vegetación es aún del tipo “selva valdiviana”. Hay coníferas como mañío (*Podocarpus*) y ciprés de las Guaytecas. En la mayor parte del archipiélago existen zonas pantanosas, de una vegetación densa de ericáceas, ciperáceas, juncáceas, gramíneas y helechos. Algunas especies de *Nothofagus* y los canelos se encuentran reducidas a renovales. Esta es una región de transición entre las selvas valdivianas y magallánicas.

#### **iii) Región oceánica sub-antártica**

Representada fundamentalmente por el archipiélago magallánico, corresponde a la llamada tundra magallánica. En cuanto a las características climáticas, hay influencias polares que se expresan en las temperaturas muy bajas. Hay vientos muy fuertes y persistentes; hay exceso de lluvias y drenaje deficiente. Durante 8 a 12 meses el promedio de temperaturas es inferior a

12°C, de éstos, 3 ó 4 descienden de los 5°C. La precipitación media anual alcanza a los 3.550 mm. Los suelos son de turbera y se encuentran podzoles en las zonas forestales. La vegetación predominante es la tundra pantanosa con plantas en matorrales. También hay juncáceas y ciperáceas. En los territorios mejor drenados hay formaciones arbustivas y forestales, prácticamente las mismas que en la selva magallánica. Domina el *Nothofagus betuloides* (roble de Magallanes), acompañado por *Embothrium coccineum*, *Maytenus magellanica*, canelos y varias coníferas.

#### **iv) Región oceánica trasandina**

La principal condición de esta región es la disminución progresiva de las lluvias hacia el este, a medida que las influencias de la costa occidental se reducen. La aridez reaparece en esta región, aumentando la temperatura en verano. La duración del período de sequía es variable; 3 meses semi-áridos en Punta Arenas y hasta Chile Chico. El período frío también es variable: 5 a 10 meses como promedio de temperaturas inferior a 10°C; de éstos 3 a 5 meses con temperaturas promedios inferiores a 5°C. Es la única zona de Chile, a excepción de la andina, donde el promedio de las mínimas es cercano a 0°C. Los fuertes vientos aumentan el efecto del frío y la aridez. El clima se define por influencias oceánicas del oeste, continentales al este e influencias polares al sur. Precipitaciones anuales entre 1.220 mm y 1.900 mm.

La fisionomía vegetal en el norte (Aysén) se presenta como bosques de transición, parecidos a la selva valdiviana. Más al sur, hay selva magallánica. Las selvas derivan rápidamente a estepa patagónica, la formación más extensa de esta región. En esta estepa se dominan las gramíneas *Festuca* y *Poa*. En lugares menos expuestos al viento hay asociaciones arbustivas de *Baccharis*, *Ribes*, y otras. La intervención humana es muy acentuada, sobre todo por el pastoreo intensivo de enormes masas de ganado ovino. La destrucción de la capa vegetal produce una rápida erosión provocada por el viento.

### **E. Zona de tendencia continental**

No existe en el país una zona netamente continental, por la estrechez del territorio. Sin embargo, las influencias continentales son claras en algunas zonas: territorios centrales, al este de la cordillera de la Costa, en zonas trasandinas australes, y sobre todo en la cordillera de los Andes.

#### **i) Región andina**

Esta región comprende los territorios de los Andes chilenos ubicadas entre el límite de las nieves eternas y la línea de los árboles. Como características climáticas, en algunas zonas muestran la concentración típica de las lluvias en invierno; otras presentan lluvias irregularmente repartidas durante el año. Finalmente, hacia la parte norte hay una concentración de lluvias en el verano, por la penetración de tendencias tropicales.

La fisionomía vegetal muestra estepas de gramíneas y tundras (*Stipa*, *Festuca*) que constituyen coironales, además de arbustos bajos como *Fabiana* y *Adesmia*. Los árboles más comunes de las estepas andinas son coníferas.

## SUCESIÓN EN EL ECOSISTEMA

La sucesión consiste en proceso gradual y predecible del cambio y sustitución progresivos de una comunidad, que conducen hacia una comunidad estable; proceso de colonización y extinción continuas de poblaciones de especies en un sitio en particular.

La sucesión es en términos generales, direccional y por tanto predecible, siempre que no sea interrumpida por fuerzas externas imprevistas.

La sucesión es el resultado de la modificación del ambiente físico por la comunidad y de las interacciones de competencia/coexistencia a nivel de la población.

En general la sucesión está bajo control de la propia comunidad, incluso a pesar que es el ambiente físico el que determina el patrón y la velocidad de cambio y con frecuencia limita los alcances del desarrollo.

Los cambios sucesionales pueden depender en gran parte de propias coacciones internas (Sucesión autógena) o pueden deberse a fuerzas externas pertenecientes al ambiente de entrada, que moldean e influyen en la sucesión (Sucesión alógena).

La secuencia de comunidades que se reemplazan una a otra en un área determinada se llama **SERE**. Las comunidades relativamente transitorias se denominan Estadios Serales.

El sistema terminal estabilizado es la comunidad clímax, que persiste teóricamente hasta que sea afectada por perturbaciones de gran magnitud.

**Sucesión primaria:** ocurre en sitio previamente **no** ocupado

**Sucesión secundaria:** “ “ “ ocupado

En general la Sucesión puede ser vista como un proceso en que la estrategia consiste en un aumento del control u homeostasis del medio ambiente.

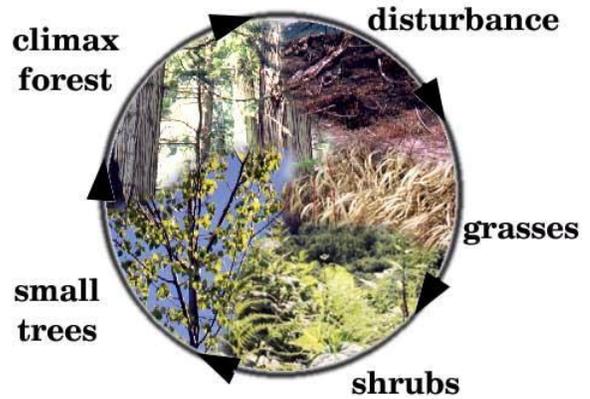
En definitiva, las etapas finales de Sucesión van tendiendo a una menor entropía, es decir a tener una condición más simple ordenada y estable, que teóricamente tiene su expresión máxima en una etapa o comunidad final que clásicamente se conoce como Climax.

**Climax:** es concepto abstracto, complementario al de sucesión y que se refiere a un estado general de equilibrio en el cual pueden terminar todas las sucesiones.

Es útil para comunicar y materializar el concepto de sucesión, en el sentido de reconocer la tendencia de la “vegetación” a llegar al equilibrio con el medio prevaleciente y con el régimen de alteraciones existente.

A modo de resumen, en la sucesión de comunidades primero se dan pequeños cambios llamados microsucesiones que en forma progresiva vienen a conformar la sucesión principal.

Las sucesiones se dan por cambios en los factores abióticos (humedad, temperatura, movimientos orogénicos, deshielos, etc.) o por la llegada o introducción de organismos foráneos u oportunistas que originan una serie de competencias con las especies autóctonas y en la que se impone la más adaptada, por esto las sucesiones están relacionadas con la evolución de las especies.



Cuando una comunidad natural se destruye por causas naturales o por intervención humana y el área donde previamente estuvieron es ocupada por otra decimos que ha ocurrido una **sucesión secundaria**.

Un ejemplo claro es la sucesión lago - estanque - pantano - prado que se observan en muchas áreas ocupadas por antiguas glaciaciones.

El principio de la sucesión ecológica tiene importancia práctica para el hombre. Cualquier campo que sea arado y luego abandonado presenta una secuencia de vegetaciones sucesivas y con ellas especies animales diferentes para cada secuencia de vegetales. Todo cambio en los caracteres físicos o biológicos del ambiente afectará evidentemente a todas las especies, poblaciones y comunidades en distinto grado

### Sucesiones forestales



Ejemplo de sucesiones de bosque alrededor de un glaciar, en secuencia (arriba hacia abajo los tipos de sucesiones de bosque hasta la comunidad climax)

## CAPITULO. ESTABILIDAD.

**Definición:** resistencia al cambio; tendencia a permanecer en, o a regresar a , un estado de equilibrio; capacidad de las poblaciones de resistir perturbaciones sin cambios notables en su composición.

La estabilidad real que logra o se presenta en un ecosistema específico depende no sólo de su historia evolutiva y la eficacia de sus controles internos, sino también de la naturaleza del ambiente de entrada, y quizá de la complejidad.

En general los ecosistemas tienden a hacerse más complejos en ambientes físicamente benignos que en áreas con climas más extremos .

Al parecer la complejidad funcional incrementa la estabilidad (hay más vías potenciales de retroalimentación) más que la complejidad estructural.

**Estabilidad por RESISTENCIA:** la capacidad del ecosistema para resistir las perturbaciones y mantener intacta su estructura y función. Bosque Araucaria



Fig. Estabilidad por resistencia. Crecimiento de araucarias en sitio arrasado por eventos catastróficos (vulcanismo)(Cuesta Las Raices, IX Región, Chile, foto autor)

**Estabilidad por ELASTICIDAD:** la capacidad para recuperarse cuando el sistema ha sido alterado por una perturbación.

En general, ambientes físicos benignos exhiben mayor estabilidad por Resistencia que por elasticidad.

Sucede lo opuesto en ambientes físicos inciertos en que predomina la estabilidad por Elasticidad.

La estabilidad en un ecosistema se logra cuando alcanza el equilibrio o se equilibran las fuerzas que actúan sobre él. Por tanto en cualquier ecosistema existen fuerzas contrarias; por ejemplo, en una población o conjunto de organismos de la misma especie se presentan conjuntamente tanto nacimientos como muertes. La capacidad que tiene el propio ecosistema para mantener su estabilidad por medio de mecanismos de retroalimentación negativa se conoce como **homeostasis**.

## LA ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS

Definición

Leyes

Energía en Ambiente

Productividad

Cadenas, Redes y Niveles Tróficos

---

**Definición Energía:** 1.Capacidad de realizar un trabajo; 2. Propiedad de un objeto o de un sistema en virtud de la cual puede realizar trabajo.

Energía cinética: Energía del movimiento. Es igual a la mitad del producto de la masa por el cuadrado de la velocidad.

Energía mecánica: Energía debida a la ubicación o al movimiento de un objeto; energía potencial o cinética (o combinación de ambas).

Energía potencial: Energía que un objeto almacena en virtud de su posición y que puede usar en cualquier momento. Cuando está almacenada, esta energía tiene el potencial de realizar trabajo.

Energía radiante: Cualquier tipo de energía, incluyendo el calor, la luz y los rayos X, que se transmite por radiación. Se da en forma de ondas electromagnéticas (Hewitt, 1998).

Entonces la energía química es..... ?? y la energía eléctrica sería.....?

La unidad de medida del trabajo combina una unidad de fuerza (n) con una de distancia (m) . La unidad de trabajo es el newton-metro (nxm) también llamado JOULE (símbolo es J).

### Leyes

Casi más importante que poder decir *qué* es la energía es entender cómo se comporta, o sea, *cómo se transforma*.

El estudio de las diversas formas de energía y de sus transformaciones de unas en otras condujo a una de las mayores generalizaciones de la física, conocida como ley de la conservación de la energía (Hewitt, 1998) o 1ª ley de la termodinámica.

Primera Ley o principio de Termodinámica

**" La Energía no se crea ni se destruye; se puede transformar de una forma en otra, pero la cantidad total de energía no cambia."**

Este balance de energía toma en cuenta el hecho de que los propios átomos que conforman la materia son paquetes de energía. Los núcleos de los átomos pueden liberar enormes cantidades de energía al reordenarse. El sol brilla porque parte de esta energía se transforma en energía radiante. En un reactor nuclear, gran parte de esta energía se transforma en calor.

[La teoría de la relatividad de Einstein indica que la masa no es más que una forma de energía y que todo objeto con masa tiene "energía de existencia", aun cuando esté en reposo y no posea energía potencial. La "energía de existencia" se llama energía en reposo y se denota con el símbolo  $E_0$ . Es importante distinguir entre la energía en reposo  $E_0$  y la energía total  $E$ , que puede

incluir energías potenciales y cinéticas. La cantidad de energía en reposo  $E_0$  se relaciona con la masa  $m$  a través de una de las ecuaciones más importantes del siglo XX :  $E_0 = mc^2$

En esta expresión  $c^2$ , es sólo el factor de conversión entre unidades de energía y unidades de masa (cuando  $c$  está expresada en metros por segundo y  $m$  en kilogramos,  $E_0$  está en joules. La expresión  $E_0 = mc^2$  expresa que la masa no es más que energía concentrada. La energía de un objeto en reposo es su masa (Hewitt, 1998)]

### Segunda Ley de Termodinámica o ENTROPÍA

La 2ª ley indica la dirección en la que fluye la energía en los procesos naturales. La 2ª ley puede enunciarse de muchas maneras pero en su versión más simple establece que:

**"El calor jamás fluye espontáneamente de un objeto frío a un objeto caliente"**

**El calor sólo fluye en una dirección: cuesta abajo, de lo caliente a lo frío** (Hewitt, supra cit).

También puede expresarse esta ley diciendo que en toda transformación de energía, una porción de la energía se degrada convirtiéndose en energía de desecho. La energía de desecho no está disponible para convertirse en trabajo y se pierde, es decir:

**"Ninguna transformación espontánea de Energía (ej. luz) en Energía potencial (ej. protoplasma) tiene una eficiencia del 100%."**

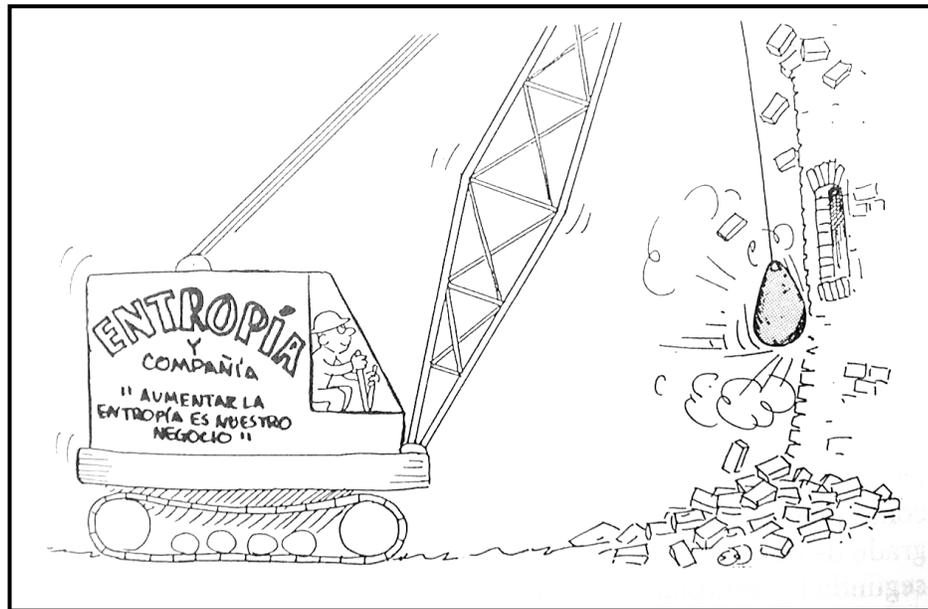
Otra forma de decir esto es que la energía organizada (es decir, concentrada y por lo tanto utilizable) se degrada convirtiéndose en energía desorganizada (energía no utilizable). La energía de la gasolina es energía organizada y utilizable. La calidad de la energía se reduce en cada transformación. La energía organizada tiende a desordenarse y así se puede enunciar que desde una perspectiva energética:

**"Los sistemas naturales tienden a avanzar a estados más desordenados."**

Ahora bien, la idea de que la energía ordenada tiende a desordenarse está contenida en el concepto de **entropía**.

La **entropía** es la medida del desorden, si el desorden aumenta, la entropía aumenta y ésta en un sistema aislado o permanece constante o aumenta. En los procesos naturales -aún cuando son sistemas abiertos- la entropía siempre aumenta a la larga.

Todo ser viviente, desde las bacterias y los árboles hasta los seres humanos, extrae energía de su medio ambiente y la usa para aumentar su propio grado de organización. El sistema viviente debe transformar energía para mantenerse con vida, cuando deja de hacerlo, el organismo muere y tiende al desorden (Hewitt, 1998).



Podemos transformar energía desordenada en energía ordenada únicamente realizando algún esfuerzo organizador o trabajo sobre el sistema. Por ejemplo, podemos confinar una masa de aire en una región pequeña y más ordenada usando un compresor. Pero sin algún trabajo externo no puede aumentar el orden.

**En el más amplio de los sentidos, la segunda ley de la termodinámica nos dice que el universo y todo lo que contiene tiende al desorden.**

**Energía en el Ambiente:** todas las formas de vida son acompañadas por cambios energéticos. La esencia de la vida es la manifestación de esos cambios como crecimiento, reproducción, síntesis de materiales complejos etc.

Todas las relaciones entre productores y consumidores y entre depredadores y presas etc, **son limitadas y controladas por el flujo de E concentrada hacia formas dispersas.**

El comportamiento de la E en los ecosistemas puede denominarse **FLUJO DE ENERGÍA** y éste es unidireccional (no así la materia).

Tanto la luz solar como la radiación térmica contribuyen con E al ambiente. Ello constituye el ambiente climático: Tº, evaporación de H<sub>2</sub>O, movimientos de aire etc.

Sólo una pequeña fracción de la radiación solar se convierte por fotosíntesis en E para biota del sistema.

**Radiación Solar:** "La E radiante emitida por el sol; la ecosfera recibe radiación solar a longitudes de onda que fluctúan entre 290 nm y aprox. 3.000nm."

El calor del Sol puede atravesar la atmósfera y calentar la superficie de la Tierra. Este calor no se transfiere a través de la atmósfera por conducción, pues el aire es uno de los peores conductores.

Tampoco se transfiere por convección, pues la convección sólo se inicia una vez que la Tierra está caliente. En el espacio vacío que separa nuestra atmósfera del Sol, la convección y la conducción son imposibles, de modo que el calor debe estar transmitiéndose por otro proceso, el cual es denominado **radiación**. (Hewitt,1998)

**Radiación:** 1.Acción y efecto de irradiar. 2. Energía ondulatoria o partículas materiales que se propagan a través del espacio. 3. Forma de propagarse la energía o las partículas (RAE, 1992). Toda energía que se transmite por radiación, incluyendo el calor, se llama **energía radiante**. La energía radiante se presenta en forma de ondas electromagnéticas. La energía radiante comprende -en orden decreciente de longitud de onda- las ondas de radio, las microondas, la radiación infrarroja, la luz visible, la radiación ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma (Hewitt, 1998)

La vida sobre la Tierra es sostenida por la energía aportada por el sol. La luz del sol es la radiación más obvia pero es sólo una parte de ésta. El espectro visible va de luz violeta (0,4  $\mu\text{m}$ ) hasta el rojo (0,7  $\mu\text{m}$ ). El humano no ve aquellas ondas más cortas ni más largas. La radiación infrarroja, con longitud de onda  $>$  a 0,7  $\mu\text{m}$  es invisible, pero podemos sentir su efecto calorífico sobre nuestra piel.

Todos los objetos emiten radiación, aquellos cuerpos fríos sólo una pequeña cantidad pero a medida que se calienta un cuerpo emite más y más radiación a longitudes de onda más cortas. Un trozo de hierro a temperatura ambiente, emite sólo infrarroja, con longitudes de onda mucho mayores a 0,7  $\mu\text{m}$ , pero a medida que un mechero lo calienta, su radiación aumenta y se mueve hacia el espectro visible. Una barra caliente al rojo está emitiendo luz roja (y también mucha infrarroja). Una barra caliente al blanco emite todo el espectro de longitudes de onda. El sol emite el rango de longitudes de onda que cualquier cuerpo emitiría a la temperatura de 5.500°C. Alrededor del 40% de su energía es convertida en luz (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ), 40% como infrarrojo (0,7-1,5  $\mu\text{m}$ ) y el resto a longitudes de onda más cortas o largas. La luz ultravioleta conocida por sus efectos nocivos compromete apenas el 8% de la energía solar.

La **densidad de flujo radiante** es aquella cantidad de energía radiante emitida (p.ej. sol) o recibida (p. ej. Tierra) relativa a una superficie y se expresa como Watts/m<sup>2</sup>/día o por año. La densidad de flujo radiante es mayor en los trópicos pues alcanza la superficie en forma más perpendicular que en las restantes zonas del globo. En la mañana temprano y al atardecer, la densidad de flujo es menor puesto que el ángulo de incidencia es menor y también por pérdidas en su más largo paso por la atmósfera. (McNeill, 1999).

La radiación que penetra a través de atmósfera es atenuada en gran medida por gases, polvos. En el mejor de los casos llega el 65 a 70% al mediodía y despejado. Sólo se absorbe aprox. el 50% de la E radiante total (sobre todo porción visible) y cuando mucho 5% (10% de la absorbida) se convierte en FOTOSÍNTESIS BRUTA en las condiciones más favorables. Luego la respiración vegetal rebaja en un 20% aunque generalmente es un 50% de la cantidad de alimento disponible para los heterótrofos.

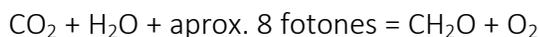
La radiación solar es la única fuente de energía que puede ser usada en actividades metabólicas por las plantas verdes y la cantidad disponible o que arriba a la superficie terrestre varía con la latitud y estación del año (generalmente expresado en gigajoules/m<sup>2</sup>).

La energía radiante es convertida durante la fotosíntesis en compuestos químicos carbonados (orgánicos) ricos en energía los que subsecuentemente serán degradados en la respiración ( por la planta misma o por aquellos que la comen o descomponen). Pero, si la energía radiante no es capturada y fijada en el instante en que cae sobre una hoja se pierde irremediamente. La energía radiante que ha sido fijada por fotosíntesis pasa solamente una vez por el mundo. Esto representa un completo contraste con un átomo de nitrógeno o de carbono o una molécula de agua que pueden ciclar repetidamente a través de infinitas generaciones.

[El 98% del cuerpo humano es renovado cada año. La mitad del Na, H y P es renovada en apenas dos semanas y todo el carbono en uno o dos meses. Al año sólo tenemos un 2% de nuestro cuerpo anterior]

### Energía y fotosíntesis

Las plantas capturan la energía solar a través del proceso de la fotosíntesis, combinando CO<sub>2</sub> y agua para formar carbohidratos y oxígeno, según:



En esta ecuación, CH<sub>2</sub>O representa un carbohidrato; por ejemplo, glucosa es C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, seis veces la unidad representada en la ecuación. Los fotones (partículas de energía luminosa) proveen la energía para esta conversión.

La luz es capturada por pigmentos en las células vegetales, los cloroplastos junto con pequeñas cantidades de carotenoides y (en las algas rojas y cianobacterias) la phycobilina. Estos pigmentos absorben más intensamente aquella luz cerca de los extremos rojo y azul del espectro visible, aunque también absorben pero en menor cantidad longitudes de onda intermedias. El rango de longitudes de onda que puede ser usado en la fotosíntesis se denomina **Radiación Activa Fotosintética** (RAFO): "Radiación capaz de situar los principales procesos de la fotosíntesis en el intervalo de longitudes de onda de 380-710nm." Aproximadamente la mitad de la energía radiante que arriba a la superficie de la tierra, cae fuera de este rango y no puede ser usada.

Los fotones de distinto color de luz tienen diferentes cantidades de energía; mientras más corta la longitud de onda, mayor cantidad de energía. Así un mol de fotones rojos tiene cerca de 180 kilojoules de energía y un mol de fotones azules ca. de 300 kilojoules

Mientras la fotosíntesis captura la energía del sol en etapas, la respiración libera esta energía de nuevo, haciendo con ello posible el proceso de la vida. Que es en esencia el reverso de la fotosíntesis.

La respiración de carbohidratos es como sigue: CH<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + 468 kJ

La energía indicada en esta ecuación, 468 kJ, es aquella que es liberada cuando un mol de CH<sub>2</sub>O (30 gramos) es oxidado. Si se compara la ecuación de fotosíntesis (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + aprox. 8 fotones =

CH<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub>) con la de respiración, se puede observar que 8 moles de fotones se necesitan para hacer carbohidratos de los que pueden ser liberados 468 kJ de energía mediante la respiración. Esos 8 moles cargan en promedio 230 kJ de energía cada uno, es decir 1840 kJ en total. Sólo al mitad de la radiación solar cae dentro del espectro fotosintéticamente activo por lo que debieron arribar 3680kJ de energía solar sobre la tierra para aportar 8 moles de RAFO y almacenar 468kJ como carbohidratos. La eficiencia del proceso sería  $468/3680=0,13$  pero en general la eficiencia del proceso más baja que eso.

**Radiación Térmica:** " Proviene de cualquier superficie u objeto cuya Tº sea superior al Oº absoluto."

### Disipación E al entrar a la biosfera

Tabla.3.1. Valores de disipación E de radiación solar en % de entrada

CIRCUNSTANCIA	PORCENTAJE
Reflejada	30%
Conversión directa en calor	46%
Evaporación, precipitación	23%
Viento, olas, corrientes	0,2%
FOTOSÍNTESIS	0,8%

## LA ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS

Productividad

Cadenas, Redes y Niveles Tróficos

### Productividad/Producción

- Productividad
  - Producción
  - Subsidios energéticos
- 
- **Productividad:** "Índice potencial de incorporación o generación de E o materia orgánica por parte de un individuo, población o unidad trófica, por unidad de tiempo por u. vol. o área, índice de fijación de carbono."
  - **Producción:** (P) producción total, índice real de incorporación de E o materia orgánica por parte de un individuo, población o unidad trófica, por unidad de área o volumen.  
Producción primaria: la asimilación de materia orgánica por parte de autótrofos.  
Producción primaria bruta: (PPB) la asimilación total de materia orgánica por parte de un individuo o población autotrófica por una u. de tiempo, u. de área o de volumen; también tasa fotosintética global o fotosíntesis total.

Producción primaria neta: (PPN) la asimilación total de materia orgánica por parte de un individuo o población autotrófica por u. de área o de volumen, menos la consumida por los procesos catabólicos de respiración.

Producción secundaria: la asimilación de materia orgánica por parte de un consumidor primario.

Producción secundaria bruta y neta = idem primaria pero intervienen consumidores.

Producción neta de la comunidad: cantidad de materia orgánica formada por la vegetación que cubre un área determinada; prod. primaria expresada en ton. de mat. orgánica seca por hectárea de tierra cubierta o en  $gr/m^2$ . Es decir la prod. primaria neta menos lo consumido por los heterótrofos, durante período en cuestión.

Tabla. 4.1. Porcentaje de **transferencias** de energía y productividad primaria

Situación	1 Energía solar	2 Absorb. x autótr.	3 Pr. Prim. Br.	4 Pr.prim. neta
Máxima	100	50	5	4
Favorable media	100	50	1	0,5
Prom. biósfera	100	<50	0,2	0,1

Tabla.4.2. Porcentaje de **eficiencia** en el traspaso Energía basado en tabla anterior

Paso	Máximo	Favorable media	Promedio biósfera
1-2	50	50	<50
1-3	5	1	0,2
2-3	10	2	0,4
3-4	80	50	50
1-4	4	0,5	0,1

- **Subsidios energéticos**: subsidio de E o flujo de E auxiliar: E externa introducida en un sistema que reduce la cantidad de E requerida para el mantenimiento de ese sistema.

### Cadenas, Redes y Niveles Tróficos

**Cadena trófica** (alimentaria): fundamentalmente se refiere a la transferencia de E en forma de alimento, desde su fuente en los Autótrofos y a través de una serie de organismos que consumen y son consumidos.

En cada transferencia se pierde una proporción (ca. 80 a 90%) de E potencial que se convierte en calor. El paso de materiales desde los productores primarios a los herbívoros forma parte de lo que se llama flujo de Materia y E.

El flujo de Materia corresponde a transferencia de tejidos y de moléculas

El flujo de E se refiere a que algunas de las moléculas ingeridas por los herbívoros son oxidadas hasta  $H_2O$  y  $CO_2$  y de esta oxidación se obtiene la E para el trabajo metabólico y la actividad general de los consumidores.

**Cadena trófica:** flujo de E y Materiales provenientes del aire, suelo y sol que es captado por los autótrofos (prod. primarios) y que luego pasa por uno o más niveles de heterótrofos.

Imágenes de componentes de cadenas trófica naturales



Herbívoro: Huemul (*H. bisulcus*) macho  
pastando (XI Región, marzo 2001).



Herbívoro: vizcacha (*L. viscacia*)  
"tomando sol" matinal (I Región, abril 2000)

Límite o techo productividad máxima: la productividad promedio del eslabón  $n$  pone un límite a la productividad máxima de organismos en todos los eslabones tróficos superiores ( $n + 1$ ,  $n + 2$  ...) de la cadena alimentaria o trófica.

Razones pérdida Energética: eficiencia  $< 100\%$  (2ª Ley Termodinámica); gastos mantención; calidad del producto nivel trófico anterior (toxicos, digeribles, excretables etc).

**Red Trófica:** conjunto de cadenas tróficas entrelazadas.

Primera red trófica directamente ligada a productores primarios y 2ª Red que consume y aprovecha los desechos y materia muerta.

La 2ª red es fundamental para el reciclaje de los materiales.

**Niveles tróficos:** Sucesión de pasos en una cadena alimenticia o pirámide alimenticia, desde el productor hasta los consumidores primarios, secundario y terciario.

**Pirámide alimentaria:** representación gráfica de las relaciones alimentarias de una comunidad, expresada cuantitativamente como números; masa o energía total en cada nivel trófico, siendo los productores los que forman la base de la pirámide y los niveles sucesivos representan a los consumidores de niveles tróficos más altos; pirámide ecológica.

## ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS

### Calidad de la energía

#### Metabolismo y tamaño del individuo

**Calidad de Energía:** La E posee atributos no sólo cuantitativos sino también cualitativos. Las formas altamente concentradas de E, como el petróleo, tienen una mayor potencialidad de trabajo y por lo tanto, una mayor calidad que formas diluídas, como la luz solar. Esta última, a su vez, tiene mayor calidad que el calor disperso de baja temperatura. La calidad de la E se puede medir por la cantidad de un tipo de energía necesaria para desarrollar otro tipo en una cadena trófica.

En una cadena trófica, con cada paso la Energía declina de aprox.  $1 \times 10^6$  kcal/m<sup>2</sup> de luz solar a  $1 \times 10^2$  o menos al nivel de consumidor secundario, pero la calidad de la E en términos de las kcal solares disipadas, se eleva de 1 a 10.000. Se necesitan 10.000 kcal de luz solar para producir una kcal de depredador o 100 kcal de herbívoro por cada kcal de depredador.

**Metabolismo y tamaño del individuo:** La biomasa que puede ser sostenida por un flujo continuo de E en una cadena trófica depende en gran medida del tamaño de los organismos individuales. Entre más pequeño es el organismo, mayor es su metabolismo por gramo (o por caloría) de biomasa, y en consecuencia menor es la biomasa que puede ser sostenida en un nivel trófico determinado del ecosistema. El metabolismo por gramo de biomasa de plantas y animales pequeños, como algas, bacterias y protozoos es inmensamente mayor que la tasa metabólica de organismos grandes como árboles o vertebrados. La tasa de metabolismo de los organismos suele estimarse por cuantificación del consumo de O<sub>2</sub> o producción del mismo en el caso de la fotosíntesis.

EJ: Un bovino pesa lo mismo que 300 conejos pero los efectos ecológicos son bien distintos (de Remmert, 1984, pg 47)

Variable	1 bovino	300 conejos
Peso vivo animal	600 Kg	600 Kg
Consumo diario forraje	7,56 Kg heno	30 Kg heno
Pérdida diaria de calor	20.000 kcal	80.000 kcal
Ganancia diaria de peso	0,9 Kg	3,6 Kg
Ganancia peso / ton heno	108 Kg	108 Kg
Pradera que produce 3 ton de heno alcanza teóricamente para	1 año	90 días

El estudio de los factores asociados al nivel de gasto de energía ha demostrado una alta correlatividad entre tamaño corporal, tasa metabólica, dieta y distribución geográfica. Por ejemplo, cambios estacionales en la dieta de una especie de roedor altoandino que no hiberna (*Abrothrix andinus*) (Bozinovic *et al*, 1988) determinan un aumento en el tamaño del tracto digestivo y de la tasa metabólica básica. El incremento en la tasa metabólica es en respuesta a los mayores requerimientos de energía para termorregular ante las bajas temperaturas

invernales, por lo que los cambios del tracto digestivo parecen ser adaptativos en dichas circunstancias. El resto de las especies que no hiberna, caen en un estado de sopor, disminuyendo su temperatura corporal y su tasa metabólica documentado para el roedor *Phyllotis darwini* en el norte de Chile.

La temperatura ambiente varía en el tiempo y el espacio en escalas que van desde pocos minutos hasta cambios climáticos de largo tiempo. Los organismos deben enfrentar estas condiciones variables y regular sus capacidades fisiológicas. Esta regulación está dada por un balance entre las tasas de producción y pérdida de calor, y se observa al nivel de la plasticidad fenotípica de los individuos y en las características resultantes de adaptación evolutiva al ambiente térmico de las especies

La distribución geográfica se relaciona directamente con adaptaciones referentes a la tolerancia al frío al calor. Se puede observar que las especies andinas presentan tolerancias al frío 40% mayores a las esperadas para su biomasa. *Chinchilla lanigera*, un roedor endémico de Chile que habita áreas desérticas que por habitar en ambientes con escasa disponibilidad de alimento y agua, posee atributos fisiológicos que minimicen los requerimientos de energía y agua. Su tasa metabólica basal (BMR) es 0,66 mlO<sub>2</sub>/g h y la conductancia térmica (C) de 0,0376 mlO<sub>2</sub>/g h°C; valores que corresponden al 80,4% y 72,5% de la magnitud predicha para un mamífero euterio de similar tamaño corporal. Esto indicaría que *C. lanigera*, poseería la aislación térmica más alta documentada y presenta una clara relación de costo-beneficio y/o compromisos en su capacidad de termorregulación que implica posible riesgo de hipertermia (Cortes et al, 2000).

Algunos roedores, como las ardillas de tierra, caen en un letargo veraniego, la estivación. Este es un estado fisiológico parecido a la hibernación, pero el estímulo necesario para que se presente no es un descenso en la temperatura, sino un descenso del contenido de agua en el alimento. De la estivación generalmente se pasa de inmediato a la hibernación, por lo que para estas especies, el periodo de actividad de centra en primavera y principios del verano (Kowalski, 1981).

Por otro lado, el tipo y composición dieta también es importante, ya que se ha demostrado para roedores que se alimentan casi exclusivamente de hongos, como *Abrothrix longipilis*, que dietas estrictamente fungívoras no sustentan el gasto energético del roedor, por lo que la demanda se suple gracias a larvas de insectos que viven en los hongos que consumen (Bozinovic y Muñoz-Pedreros 1995)

Otro ejemplo, es la herbivoría en aves, la que es una estrategia poco común, ya que solo el 3% de las aves actuales consumen plantas como fuente de energía. Tanto la composición química de las plantas como las restricciones asociadas al vuelo y digestión en aves



EJ: Rara, ave chilena especializada en el consumo de vegetales, posee un pico con borde dentado para cortar ramas y hojas.

pueden explicar el reducido número de pequeños endotermos, como las aves, que son herbívoros. Las aves herbívoras satisfacen sus requerimientos nutricionales y energéticos aún cuando consumen dietas extremadamente pobres, gracias a numerosas características, como el rápido tiempo de tránsito intestinal, un efectivo rompimiento de la pared celular de los vegetales consumidos, y la alta y constante actividad de las enzimas digestivas, que le permiten disponer de nutrientes y energía celulares, sin los costos energéticos asociados al desarrollo de estructuras anatómicas de fermentación bacteriana o lentos tiempos de tránsito (Lopez-Callejas y Bozinovic, 2000). Estos son posiblemente adaptaciones cruciales en la evolución de la herbivoría en aves pequeñas como la rara (*Phytotoma rara*).

### Unidades de Energía útiles en Ecología

De Odum, 1972, 3ª ed. (pg.40)

- **Gramocaloría (gcal o cal)** : cantidad de calor necesaria para aumentar un gramo de agua (1 ml) en 1°C, a 15°C . 1kcal = 1000cal
- 1 kcal = 4186.8 J = 4.187 kJ
- 1 kW · h = 3.6 x 10<sup>6</sup> J = 3.6 MJ

De McNeill, 1999 ( pg. 2)

- Fuerza es medida en newtons(N); energía en joules (J) y potencia en watts(w)
- **Un joule** = trabajo de una fuerza de 1n se mueve 1 m a lo largo de su eje acción
- Un **watt** equivale a energía aportada o consumida de 1j/seg.

De Remmert, 1984 (pg. 219)

1g C equivale

- 2,2g de materia seca (MS) vegetal orgánica
- 3,3g MS fitoplancton (incl. partes inorgánicas)
- 42 g peso fresco de fitoplancton
- 1,7g MS animal orgánica
- 8,3g peso fresco zooplancton
- 1g MS vegetal, libre cenizas, equivale a: 4.000 - 5.000 cal
- 1g MS animal, libre cenizas, equivale a : 5.000 - 6.000 cal
- 1 g carbohidrato 3.700 - 4.200 cal
- 1 g proteína 3.900 - 4150 cal
- 1 g grasa 9.500 cal
  
- 1 g de O<sub>2</sub> (captura) equivale a 3.280 cal = 0,345 g grasa  
= 0,728 g subst. vegetal  
= 0,596 g subst. animal
  
- 1g de CO<sub>2</sub> (emisión) implica =1.800 cal
- 1 ml O<sub>2</sub> (captura) implica =4.687 cal
- 1 ml Co<sub>2</sub> (emisión) implica =3.558 cal.

## CAPITULO 4: COMPLEJIDAD Y CAPACIDAD DE CARGA

### 4.1. Complejidad

### 4.2. Capacidad de carga

**4.1. Complejidad:** A medida que el tamaño y la complejidad de un sistema aumentan, el costo energético de mantenimiento tiende a aumentar proporcionalmente, pero con más rapidez.

La duplicación del tamaño suele requerir más del doble de Energía destinada a reducir la mayor entropía asociada con el mantenimiento de la nueva complejidad estructural y funcional.

Existen ganancias crecientes a escala asociadas con el incremento en tamaño o complejidad, como el aumento de la estabilidad, pero también existe disminución de ganancias a escala o diseconomías a escala asociadas con el costo entrópico inherente

La disminución de ganancias a escala es inherente a los sistemas grandes y complejos y puede ser aplicada a todo tipo de sistemas.

Conforme un ecosistema se vuelve más grande y complejo, la proporción de la producción que debe ser respirada en la comunidad para sostenerla aumenta, de modo que la proporción que podría destinarse a un mayor crecimiento disminuye.

### 4.2. Capacidad de carga:

- capacidad de carga
- capacidad de carga ecológica
- capacidad de carga económica
- máxima capacidad de carga
- máximo rendimiento sostenido o densidad óptima

- Capacidad de carga: se define como el peso de animales de una población simple o mixta que puede ser soportada permanentemente por un área (Krebs, 1985).

- Capacidad de carga ecológica: es la densidad máxima de animales que pueden ser sostenidos sin extracción y sin que induzca cambios en la vegetación

- Capacidad de carga económica: es aquella densidad de animales que permita la máxima extracción o cosecha sustentable y es siempre menor que la capacidad de carga ecológica.

- Máxima capacidad de carga: cantidad de biomasa que puede ser sostenida en un ambiente cuando las entradas y salidas de energía se equilibran y ya no puede haber aumento de tamaño.

- Máximo rendimiento sostenido o densidad óptima: densidad en que la biomasa que se extrae es reemplazada con máxima rapidez (punto en que se alcanza la máxima velocidad de crecimiento).

El aumento en tamaño y complejidad de las poblaciones, así como de los ecosistemas, suele comportarse como una curva sigmoide (en forma de S) de una población.

La capacidad de carga también se puede calcular según la ecuación de **Coe**

$$y = -1,2202 + 1,7596 x R^2 = 89\%$$

donde:  $y = \log 10$  de la masa de herbívoros en  $\text{kg}/\text{km}^2$

$x = \log 10$  de la lluvia en  $\text{mm}/\text{año}$

(Coe, M., D.H. Cumming y J. Phillipson. 1976. Biomass and Production of large African herbivores in relation to rainfall and primary production. *Oecologia* 22:341-354).

### Ejemplo práctico:

Estimación de productividad forrajera y capacidad de carga para Ciervo Rojo (O. Skewes.

Proyecto FIA: "Cría del Ciervo Rojo en ambiente de semicautiverio en Isla Tierra Del Fuego")

Para conocer la productividad forrajera de la pradera, se han establecido jaulas de exclusión permanentes ( $1 \text{ m}^2$  c/u) en 6 potreros durante 3 años. Determinándose que la productividad de la pradera para la temporada marzo 2002-03 es  $572 \text{ KgMS}/\text{ha}/\text{año}$  promedio.

Estos antecedentes confirman que la productividad general del área de los ciervos no alcanza los teóricos  $1.000 \text{ KgMS}$  requeridos para el proyecto. El valor de productividad del predio ( $545 \text{ KgMS}/\text{ha}$ ) está por debajo de esa cifra, lo que significa que se *sobrepasó la capacidad de carga del predio*. El ciervo rojo adulto tiene requerimientos de  $1.125 \text{ Kg}/\text{MS}/\text{año}$  en el caso de los machos y de  $1.150 \text{ Kg}/\text{MS}/\text{año}$  en el caso de las hembras, de modo entonces que la capacidad de carga del predio sería de  $0,47$  ciervos/ $\text{ha}/\text{año}$ . En otras palabras, se necesitan  $2,08$  hectáreas por cada ciervo adulto y esto como mínimo y asumiendo que harán uso del 100% de la MS disponible. Así, todo indica que son necesarias como mínimo dos hectáreas para cada ciervo adulto. La superficie del terreno ( $93 \text{ Has}$ ) tendría una capacidad de carga teórica e ideal de  $30-40$  ciervos adultos.



Fig. Jaula de exclusión utilizada en pradera para evaluar productividad y consumo por parte de ciervo rojo

La pluviometría y el crecimiento de los pastos en la actual temporada son normales, sin embargo, por las razones expuestas anteriormente, se implementó la suplementación a hembras y crías consistente en heno, concentrado y roleado de maíz.

**Nomenclator básico de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos**  
( interesante quizá sólo para Agrónomos)

(Versión aprobada, por unanimidad, en la Asamblea General de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos que se celebró en Alicante el día 26 de abril de 2001. Los antecedentes, justificaciones y matices relativos al Nomenclator básico pueden ser consultados en la Propuesta publicada en la revista Pastos, XXVII(2): 125-161, 1997)

**PASTO:** cualquier recurso vegetal que sirve de alimento al ganado, bien en pastoreo o bien como forraje. Es el término genérico, que comprende a todos los demás que son definidos a continuación.

**PASTO CON ARBOLADO DENSO:** bosque o repoblación forestal de alta espesura que puede permitir el pastoreo extensivo del estrato herbáceo y el ramoneo de arbustos y árboles. El pastoreo está más o menos limitado, por no ser la ganadería su producción principal.

**PASTO CON ARBOLADO RALO:** monte con arbolado abierto, hueco o aclarado (natural o artificialmente), que se utiliza para pastoreo extensivo, aunque tampoco la ganadería sea su producción principal.

**DEHESA:** superficie con árboles más o menos dispersos y un estrato herbáceo bien desarrollado, en la que ha sido eliminado, en gran parte, el arbustivo. Es de origen agrícola (tierras labradas en rotaciones largas) y ganadero. Su producción principal es la ganadería extensiva o semiextensiva, que suele aprovechar no sólo los pastos herbáceos, sino también el ramón y los frutos del arbolado.

**PASTO ARBUSTIVO:** pasto procedente de especies leñosas de menos de 5 m de altura (árboles de porte achaparrado o verdaderos arbustos) que generalmente es aprovechado por pastoreo.

**PASTOS HERBÁCEOS:** La vegetación es fundamentalmente herbácea:

**PRADO:** Comunidad vegetal espontánea densa y húmeda, siempre verde, producida por el hombre o la acción del pastoreo. Se puede aprovechar por siega o pastoreo, indistintamente.

**PASTIZAL:** Comunidad natural dominada por especies herbáceas que, por efecto del clima, se secan o agostan en verano. Su densidad es variable y frecuentemente está salpicado de especies leñosas. Se aprovecha mediante pastoreo extensivo.

**PASTO DE PUERTO:** recurso de verano que se aprovecha por pastoreo extensivo. Se ubica en los pisos alpino y subalpino (incluso en el montano) y en los supra-, oro- y crioromediterráneo. Generalmente son pastos con relativa humedad y elevada densidad, que reciben ganado trashumante.

**PASTOS DE ORIGEN AGRÍCOLA:** derivados de la actividad agrícola y con aprovechamiento generalmente intensivo (salvo los barbechos, eriales o baldíos y muchos rastrojos)

**Cultivos forrajeros: pastos sembrados en una rotación.**

**Pradera:** cultivo forrajero constituido fundamentalmente por dos o más especies de gramíneas y leguminosas, que puede ser aprovechado por siega o pastoreo de forma indistinta. En general son plurianuales. Con el paso del tiempo pueden naturalizarse (las especies sembradas son sustituidas por espontáneas), transformándose en prados o pastizales, en función de la humedad.

**Cultivos monofitos (o de mezcla sencilla):** cereales de invierno o de primavera, leguminosas y gramíneas forrajeras, raíces y tubérculos forrajeros, barbecho semillado, avena-veza. Se aprovechan fundamentalmente por siega para consumo directo o como forraje conservado, aunque en algunos casos pueden ser objeto de pastoreo. Pueden ser anuales o plurianuales.

**Rastrojos:** residuos de cosecha (parte vegetativa, pero también frutos o semillas) que quedan en el campo y se aprovechan por pastoreo en el tiempo que va desde la recolección hasta el arado o laboreo del suelo para preparar el cultivo siguiente.

**Barbecho:** Vegetación espontánea que aparece en una superficie agrícola cuando, en seco, se deja descansar el suelo durante uno o más años. Se aprovecha por pastoreo. También se denomina así al terreno labrado y desprovisto de vegetación entre dos cultivos consecutivos.

**Erial a pastos (baldío):** antiguo terreno agrícola donde, por abandono del cultivo, crece una vegetación espontánea que puede ser objeto de pastoreo. Por sucesión natural evoluciona a prado o a pastizal y, posteriormente, a comunidades vegetales leñosas.

**MAJADAL:** vegetación más o menos nitrófila de los alrededores de las majadas (albergues de pastor) y, por extensión, de otros reposaderos del ganado, que ocupa por tanto áreas concretas y relativamente reducidas de pastos extensivos o semiextensivos.

**PÁRAMO O PARAMERA:** pastizal o pasto arbustivo de llanuras amesetadas o muelas, con xerofilia debida a los fuertes vientos desecantes o a procesos kársticos; muchas veces presentan porte almohadillado.

**ESTEPA:** paraje abierto en zona de clima continental extremado, con veranos muy cortos y secos e inviernos muy largos y fríos, ocupado por especies herbáceas más o menos amacolladas, gramíneas fundamentalmente, sobre suelos profundos de tipo chernosem o pardos. Estas características no se dan en la Península Ibérica.

**FORRAJE:** parte vegetativa de las plantas que se utiliza en la alimentación del ganado, una vez cortada o segada, bien directamente o bien conservada (henificada o ensilada).

**PASTO DE RAMONEO:** matiz que puede aplicarse a cualquiera de los pastos leñosos (arbóreos o arbustivos) y que implica que el ganado ramonea, es decir, consume ramón (hojas y ramillos tiernos) y, por extensión, otros productos de especies leñosas: frutos, flores e incluso cortezas.

**PASTO DE MONTANERA:** hace alusión al pasto de bellotas, hayucos, castañas y otros frutos forestales que aprovecha el ganado, sobre todo el de cerda, en el monte.

**PASTO MELÍFERO:** recurso vegetal constituido por néctar, mielatos, polen y zumos que utilizan las abejas para su actividad productiva.

La técnica de gestión de los pastos es la **Pascicultura**, y la ciencia que se encarga de su estudio, la **Pascología**.

## 5. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

**5.1. Definición:** es el estudio del intercambio de los materiales entre los componentes vivos y no vivos de la biósfera.

Los componentes del protoplasma, como elementos químicos, circulan en la biosfera a través de vías características , pasando por el ambiente , los organismos , el ambiente y así sucesivamente.

- Un ciclo muy rápido o un tiempo de transferencia muy corto de un elemento, hacen aparecer a este recurso como si estuviese en gran cantidad. Es decir un corto tiempo de transferencia o reciclaje actúa como una fertilización mientras que un largo período de reciclaje se refleja como una escasez del elemento.
- Así, frente a materiales escasos , la evolución de un ecosistema fuerza-empuja a una rápida disponibilidad y reutilización del recurso.

**5.2. Reservorios:** Para todos los elementos nutritivos existen reservorios y ellos son:

5.2.1. Atmósfera: gran reservorio de O<sub>2</sub>, Carbono y Nitrógeno

5.2.2. Suelo: principalmente reserva de Fósforo, Potasio , Calcio, Sodio y también de N y trazas de algunos elementos esenciales como Fe, Mn, Ni, etc.

a) Hemisferio norte;

b) Antiguas terrazas tropicales

**5.3. Agua:** por un lado el agua es un medio de dilución sin el cual la vida es imposible y por otro lado en la fotosíntesis es usada y luego generada otra vez por la misma reacción fotosintética.

- Importancia del origen, del reciclaje, clima, lugar geográfico, cubierta del suelo.

### 5.4. Ciclo del carbono y nitrógeno

5.4.1. Carbono: la mayor parte del C está depositado en materia orgánica. También combustibles fósiles y atmósfera. Véase figura.

5.4.2. Nitrógeno: nitrógeno en atmósfera y N terrestre.

La pulpa de las frutas es considerada un alimento inadecuado para las aves frugívoras debido a su bajo contenido de proteína. Por lo tanto, se espera que los frugívoros minimicen sus pérdidas de nitrógeno como una adaptación a la frugivoría, a través de una elevada capacidad de extracción de nitrógeno de la dieta y bajas pérdidas urinarias de nitrógeno relacionadas con una baja tasa metabólica. La minimización de las pérdidas endógenas fecales podría ser la adaptación más importante de los frugívoros para subsistir con base en dietas pobres en nitrógeno (Bosque y Pacheco, 2000)

## 6. FACTORES LIMITANTES

### 6.1. Definición

### 6.2. Ley de Liebig

### 6.3. Ley de Shelford

### 6.4. Denominación de grados de tolerancia

### 6.5. Ecotipos

### 6.6. Factores físicos como limitantes

**6.1. Definición:** La presencia y éxito de un organismo o población depende de un conjunto de condiciones. Cualquier factor ambiental, o grupo de factores relacionados, que se aproxime o exceda los límites de tolerancia se denomina condición o factor limitante.

El estudio y el descubrimiento de los factores limitantes de un organismo o población es muy valioso, ya que permite al ecólogo iniciar paso a paso el estudio de situaciones complejas.

**6.2. Ley de Liebig:** Justus Liebig en 1840, descubrió que el rendimiento de las plantas suele ser limitado no sólo por los nutrientes necesarios en grandes cantidades, sino por algunas materias primas que escasean en el suelo.

Liebig afirmó que “El crecimiento de una planta depende de los nutrientes disponibles sólo en cantidades mínimas”. Esto se conoce como la ley de Liebig o ley del mínimo

También puede interpretarse este concepto en el sentido de que “un organismo dado estará ausente de todos los lugares en que cualquier factor esté por debajo del umbral mínimo necesario para ese organismo”.

- Limitaciones:

- 1) sólo es aplicable en condiciones uniformes y
- 2) no considera interacción de factores.

**6.3. Ley de Shelford:** No sólo las cantidades mínimas de alguna sustancia pueden ser un factor limitante, sino también el exceso como puede acontecer con factores como agua, luz, calor.

Así todo organismo o población tiene un mínimo y un máximo ecológicos; la gama de concentraciones situadas entre esos extremos representa los límites de tolerancia.

El rango de situaciones entre el máximo tolerable y el mínimo necesario fue descrito por V. Shelford en 1913.

Un organismo dado sobrevive y se reproduce sólo dentro de un rango limitado de valores para cada uno de sus requerimientos. Si en un determinado sitio, cualquiera de los factores tiene valores que caen fuera de ese rango, la especie u organismo estará ausente.

Algunos principios adicionales de la ley de tolerancia son.

- a) Los organismos pueden tener una tolerancia muy amplia para un factor y otra muy estrecha para otros factores
- b) los organismos que tienen amplia tolerancia para muchos o todos los factores son los que tienen mayor oportunidad de distribuirse extensamente.
- c) cuando las condiciones no son óptimas para una especie respecto a un factor ecológico, los límites de tolerancia suelen reducirse en lo que respecta a otros factores.

d) con frecuencia en la naturaleza los organismos no viven precisamente en los rangos óptimos de un factor físico en particular. En esos casos, algún otro factor o factores tienen mayor importancia. En muchos casos, las interacciones de las poblaciones, como depredación, competencia, parasitismo, evitan que los organismos obtengan ventajas de las condiciones físicas óptimas.

e) la reproducción suele ser un período crítico en que los factores ambientales tienen grandes probabilidades de volverse limitantes. En esos casos, los límites de tolerancia del individuo y sus semillas, huevos y embriones, plántulas o larvas suelen ser más estrechos que los de las plantas o animales adultos cuando no se están reproduciendo.

**6.4. Denominación de grados de tolerancia.** Para referirse a los grados relativos de tolerancia se utilizan los prefijos ESTENO (estrecho) y EURI (amplio). Así tenemos estenotérmico-euritérmico, estenofágico-eurifágico, etc.

**6.5. Ecotipo.** Las especies que tienen límites muy amplios a través de un gradiente de temperatura u otras condiciones suelen presentar diferencias fisiológicas, y en ocasiones hasta morfológicas, en las diferentes partes del gradiente.

Esta población, adaptada localmente, que posee caracteres distintivos como resultado de presiones selectivas del ambiente local, se denomina ecotipo (raza ecológica).

**6.6. Factores físicos de importancia como factores limitantes.**

Entre los factores limitantes, son igualmente importantes en el control de la distribución y la abundancia de los organismos los factores físicos como los factores bióticos (competencia, depredación). Sin embargo en esta sección en particular, sólo se hará mención a los físicos como 6.6.1. Temperatura; 6.6.2. Luz y 6.6.3. Agua.

Así de modo general se tiene :

<u>tipo de ambiente</u>	<u>Factores limitantes principales</u>
◆ terrestre	<b>luz, Tº</b> y agua
◆ dulceacuícola	<b>luz, Tº</b> y oxígeno disuelto
◆ mar	<b>luz, Tº</b> y salinidad

**6.6.1. Temperatura.**

- a) rango-gradiente
- b) gama variación
- c) control funciones
- d) variabilidad
- e) ley de Vant´Hofftschen

a) Rango-gradiente. La vida existe entre límites muy estrechos de aproximadamente -200 a + 100°C, es decir en un rango de 300º en comparación al inmenso gradiente de miles de ºC disponible.

La mayoría de las especies sin embargo, está restringida a una banda aún mucho más estrecha de temperatura. En general el máximo para insectos y peces más tolerantes está alrededor de

los +50°C, algunas bacterias y algas son capaces de soportar hasta 80°C en tanto que estados de latencia de algunos insectos son capaces de soportar temperaturas muy bajas por poco tiempo. En general, los límites superiores se vuelven más críticos con más rapidez que los límites inferiores, aunque muchos organismos parecen funcionar con mayor eficiencia hacia los límites superiores de tolerancia.

b) Gama de variación. La gama o el rango de variación tiende a ser menor en ambiente acuático que en terrestre. Por tanto los organismos acuáticos en general, muestran límites más estrechos de tolerancia al respecto (estenotérmicos) que los animales terrestres.

c) Control de funciones. Los ritmos de temperatura, humedad, mareas, etc, controlan en gran medida las actividades estacionales y diarias de las plantas y animales. La Tº suele ser causa de zonación y estratificación en los medios acuáticos y terrestres.

d) Variabilidad. La variabilidad de la Tº tiene gran importancia. Una Tº que fluctúa entre 10º y 20°C con promedio de 15°C no tiene el mismo efecto sobre un organismo que una Tº constante de 15°C.

Los organismos que están sometidos normalmente a Tº variables en la naturaleza -como sucede en casi todas las regiones templadas- tienden a ser deprimidos, inhibidos o aletargados por las Tº constantes.

El efecto estimulante de la Tº variable, por lo menos en las zonas templadas puede aceptarse como principio ecológico.

e) Ley de Vant´Hoffschen. La Tº tiene efecto sobre todos los procesos químicos en el sentido de que “un aumento de la Tº en 10°C acelera una reacción química en un factor de 2 a 4”.

**6.6.2. Luz.** La proveniente de la radiación solar (R. solar es a E radiante emitida por el sol). La ecósfera recibe radiación solar a longitudes de onda entre 290 y 3000nm.

(La luz es energía emitida por cargas eléctricas vibrantes en el interior de los átomos. Dicha energía se propaga en una onda que es parcialmente eléctrica y parcialmente magnética. Esta onda se llama onda electromagnética. La luz constituye una pequeña porción de la amplia familia de ondas electromagnéticas, que comprende formas que nos son familiares, como las ondas de radio, las microondas y los rayos X, todas ellas emitidas por electrones en vibración en el interior de los átomos. La gama de las ondas electromagnéticas se denomina espectro electromagnético que va desde las ondas de radio hasta los rayos gamma. La luz de menor frecuencia que podemos ver es roja y la de mayor es la del violeta.

Newton demostró que la luz solar está compuesta por una mezcla de todos los colores del arcoiris. La luz solar es lo que llamamos luz blanca. Con la luz blanca, los objetos blancos se ven blancos y los objetos de color se ven cada uno de su color. Newton mostró que los colores del espectro no eran una propiedad del prisma que utilizaba, sino de la propia luz blanca. Lo probó mezclando de nuevo los colores por medio de un segundo prisma para obtener luz blanca. En otras palabras, al superponerse todos los colores se produce luz blanca, por lo tanto se puede afirmar que el blanco no es un color, sino una combinación de todos los colores (Hewitt, 1998).

En relación a la luz se presenta una dualidad ya que la exposición directa de la célula a la luz puede acarrear su muerte pero al mismo tiempo es fuente misma y última de la E sin la cual no podría existir esa célula y la vida. Así, la luz no es sólo un factor vital, sino también limitante en sus niveles máximo y mínimo.

Desde el punto de vista ecológico interesan:

- ◆ **Calidad** (longitud de onda o color)
- ◆ **Intensidad** (cantidad de luz; en lux o % de la luz o en gramocalorías)
- ◆ **Duración** o fotoperíodo (horas luz/día)

Calidad. Las plantas y animales responden a distintas longitudes de onda. Visión en color desarrollada en artrópodos, peces, aves y algunos mamíferos (primates). Para las plantas la tasa fotosintética varía en cierta medida con las distintas longitudes de onda.

En los ecosistemas terrestres la calidad de la luz solar no varía lo suficiente para tener efecto importante sobre la tasa fotosintética. Sin embargo, en ambientes acuáticos sí es relevante ya que los rojos y azules son absorbidos de modo que la luz verdosa resultante es muy pobremente aprovechada por la clorofila.

Intensidad. La intensidad de la luz, esto es la cantidad de E incidente que llega a la capa autotrófica, controla el sistema entero a través de su influencia sobre la producción primaria.

La relación entre la intensidad de la luz y la fotosíntesis, tanto en tierra como en el agua sigue un patrón similar de incremento lineal hasta un nivel óptimo o de saturación lumínica, seguido en muchos casos de un descenso en las intensidades más altas de la luz solar directa.

Hay compensación de factores: “plantas de sombra” y “plantas de sol”

Duración horas luz o fotoperíodo. Es la fase luminosa de un ciclo luminosidad-oscuridad. En términos prácticos horas luz/día.

Los organismos no sólo se adaptan al medio, sino que también usan las periodicidades naturales para sincronizar sus actividades y programar sus historias de vida de modo que puedan beneficiarse con las situaciones favorables.

El fotoperíodo es el cronómetro o gatillo que inicia una serie de secuencias fisiológicas que ocasionan: crecimiento y floración en muchas plantas, muda del pelo y plumaje en mamíferos y aves; acumulación de grasa en muchas especies; migración en aves y mamíferos; el inicio de la diapausa en insectos.

La luz o duración luz día es captada en animales por el ojo y en plantas por pigmentos especiales en las hojas que puede activar una o más hormonas y sistemas enzimáticos que provocan la respuesta fisiológica o de comportamiento.

En muchas especies es posible alterar artificialmente esta situación manipulando el fotoperíodo.

## ANEXO O COMPLEMENTO DE ÓPTICA Y LUZ OPTICA

### Ondas electromagnéticas

Un circuito oscilante (por ej. la descarga de un condensador, la chispa de una bobina de Ruhmkorff, un transformador de Tesla, etc.) emite ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio con la velocidad de la luz. La frecuencia de las ondas electromagnéticas es la misma del circuito oscilante que las engendro. Son ondas transversales. En un punto dado del espacio las direcciones de las oscilaciones de los campos magnéticos y eléctricos son perpendiculares entre sí y a su vez perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Entre la frecuencia  $n$ , el periodo  $T$  y la longitud de onda  $\lambda$  existen las mismas relaciones de todo movimiento oscilatorio:

$$n \cdot T = 1; \lambda = v \cdot t; \lambda = v/n$$

En las cuales  $v$  es la velocidad de propagación de la onda.

Las ondas electromagnéticas fueron previstas por Maxwell por medio del cálculo y 15 años después, 1888, fue Hertz el que probó experimentalmente su existencia. De ahí que se les llamen también ondas hertzianas.

La longitud de onda  $\lambda$  se mide en unidades de longitud; por ej. :

$$1 \text{ Km} = 10^3 \text{ m} = 10^6 \text{ nm} = 10^9 \text{ micrones} = 10^{12} \text{ m}\mu = 10^{13} \text{ \AA} \quad 1 \text{ m} = 10^2 \text{ Cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \text{ }\mu = 10^9 \text{ m}\mu = 10^{10} \text{ \AA} \quad 1 \text{ \AA} = 1 \text{ Angstrom} = 10^{-7} \text{ mm}$$

$n$  = la frecuencia que se expresa en Hertz que equivale a 1

Son las ondas hertzianas las que empleo Marconi en la telegrafía sin hilos para enviar mensajes a largas distancias y las que emiten hoy las radioemisoras. Las ondas largas tienen longitudes comprendidas entre 600 m y más de 2000 m; tienen gran alcance; las ondas medias tienen menor alcance y su longitud de onda varía de 200 a 600m; las ondas cortas tienen una longitud de 10 a 50m.

La propagación de las ondas hertzianas es diferente según su longitud de ondas. Las ondas largas parece que se amoldan a la superficie terrestre; en cambio, las ondas cortas muchas veces no se oyen, a distancias relativamente cercanas a la estación emisora y se las capta a distancias mayores a ella. Esto se debe a que las ondas cortas son reflejadas por la alta atmósfera donde existe una gran continuidad por la fuerte ionización del aire en esa zona; de esta manera esta capa hace las veces de un espejo o superficie reflectante de estas ondas. Las ondas hertzianas antes mencionadas se obtienen por métodos eléctricos en la radio difusión y su longitud varía de varios metros a algunos Km. y frecuencias de  $10^7$  Hz a  $10^{10}$  Hz.

Pero no son las únicas ondas electromagnéticas. Así las ondas luminosas de naturaleza electromagnética y las radiaciones del espectro visible abarcan de 390 m $\mu$  a 770m $\mu$ . (Frecuencias de  $8 \cdot 10^{14}$  Hz a  $3 \cdot 10^{14}$  Hz.). Los rayos infrarrojos, ultravioleta, rayos X, etc. son también ondas electromagnéticas. A continuación se inserta una visión del espectro electromagnético con las longitudes de ondas de  $c/u$  en  $\text{\AA}$  y metros, la frecuencia en Hz. Y la energía en electrón -volt. Las ondas hertzianas de alta frecuencia y los rayos infrarrojos de gran longitud de onda son de la misma naturaleza y solo se diferencian en la manera de obtenerlos:

las ondas hertzianas por métodos eléctricos y las infrarrojas por métodos térmicos. Todas las ondas electromagnéticas tienen la misma naturaleza pero las propiedades de cada una de ellas son bastante diferentes dependiendo de ellas de la longitud de onda.

Las ondas sonoras no son electromagnéticas sino de naturaleza mecánica y longitudinales en los fluidos. Recordemos que los elementos principales de cualquier onda son:  $\lambda$  = longitud de onda; es la distancia comprendida entre dos moléculas consecutivas en concordancia de fase; o bien la distancia hasta donde se ha propagado la onda mientras la molécula foco efectúa una oscilación completa. En las ondas transversales corresponde a la distancia entre dos montones consecutivos. Se expresa en unidades de longitud: mm, cm, Km.

$\infty$  = Amplitud: es la mayor distancia que se separa una molécula de su posición de equilibrio; es decir, es la elongación máxima.

$n$  = frecuencia: Es el número de oscilaciones o vibraciones efectuadas por segundo. Se expresa en vibrac./seg. , Oscila/seg. , Ciclos/seg. , Megaciclos/seg. o simplemente en hertz(Hz) o  $\text{seg}^{-1}$ .

Al propagarse una onda regular lo que va variando es la amplitud hasta que desaparece la onda (amplitud=0). Pero la longitud se mantiene constante (onda amortiguada).

(C. Mercado S.; 1972)

### **Naturaleza de la Luz**

Para explicar la naturaleza de la luz se han dado, en todos los tiempos, diferentes hipótesis más o menos aceptable según la época. Según una historia sagrada el creador hizo al hombre de barro, a la mujer de una costilla del hombre, etc.; cuando dijo la luz tan solo dijo: hágase la luz y sabemos que la luz fue hecha. Pero el creador olvidó decir a partir de qué la hizo. ¿Cuántos dolores de cabeza y luchas por las diferentes hipótesis de la luz se habría evitado si no hubiera cometido esta omisión?

Las primeras hipótesis serias para explicarla, aparecen a fines del siglo XVII y son: la teoría corpuscular o emiciva de Newton. Según Newton los cuerpos luminosos emiten pequeños corpúsculos en todas direcciones que al chocar contra la retina dan origen a la sensación luminosa. Esto quiere decir que para Newton la luz es materia formada por pequeñísimos corpúsculos imponderables. Por esta teoría se explican fácilmente fenómenos de propagación y flexión de la luz, pero ya comienza a fallar en la refracción de la luz. En cambio, para Huyghens la luz no es materia sino que su naturaleza es ondulatoria. Los cuerpos luminosos emiten ondas que se propagan aun en el vacío con velocidad muy grande. Para Huyghens eran ondas longitudinales y fueron los fenómenos de polarización estudiados sobre todo por Fresnel (1820) los que demostraron que las ondas eran transversales y reafirmaron la teoría ondulatoria que al comienzo tubo pocos adeptos. Más o menos en 1865 Maxwell lanza su teoría electromagnética de la luz según la cual la propagación de la luz se explica por la propagación de un campo eléctrico y de un campo magnético que son perpendiculares entre sí. Los electrones en sus movimientos pueden crear oscilaciones eléctricas que a su vez pueden crear ondas electromagnéticas; si estas ondas tienen una longitud entre  $3.900 \text{ \AA}$  y  $7.600 \text{ \AA}$  más o menos, son capaces de excitar los conos y bastoncillos de nuestros ojos dando lugar a la sensación luminosa. Pero la física ha seguido avanzando y se ha descubierto posteriormente fenómenos que no se explican por la teoría ondulatoria; por ej.: los fenómenos fotoeléctricos; en cambio, tienen una

explicación más satisfactoria por la teoría corpuscular. Por eso se dice actualmente que la luz tiene doble naturaleza; se propaga como onda y actúa como corpúsculo. En efecto, en los fenómenos fotoeléctricos la velocidad con que son arrancados los electrones de ciertas placas metálicas depende de la frecuencia de la luz incidente y no de la intensidad de ella; la intensidad de la luz influye en la corriente fotoeléctrica, es decir, influye en el N° de electrones desprendidos por unidad de superficie. Fueron sobre todos estos fenómenos los que llevaron a Einstein en 1905 a concebir la hipótesis de los fotones o cuantos de luz. Según Einstein la luz es un conjunto de pequeñísimos corpúsculos llamados fotones, que poseen una energía que es proporcional a la frecuencia de la radiación.

Con Planck en 1900 desaparece la idea de la continuidad de la energía y para explicar los intercambios de energía entre la materia y la radiación supone que estos cambios sólo se producen por saltos o múltiplos enteros de una energía elemental  $h \cdot n$ . de este modo al incidir una radiación de frecuencia  $n$  sobre la materia vibran los electrones que forman los átomos absorbiendo un múltiplo entero de la energía elemental  $h \cdot n$ . del mismo modo al ser desprendida esta energía por fases apropiadas también lo es por múltiplos entero de ella. Es decir que los cuerpos no absorben o irradian energía en forma continua, como el agua que sale a chorros por la llave, sino que lo hacen en forma discontinua como el agua que cae a gotas en una llave.

Un átomo en condiciones normales tiene diversos niveles de energía ocupados por electrones: si por una causa un electrón es expulsado de su lugar, el vacío que deja puede pasar a ser ocupado por otro electrón, el cual al llenar el hueco producido, emite parte de la energía que tenía antes de caer al hueco y es esta energía la que es irradiada al exterior en formas de luz. Antes de aparecer la teoría de los quanta de Planck se creía que los electrones al girar en torno al núcleo eran los que emitían las radiaciones luminosas. Según esta teoría los electrones que giran en su órbita normal poseen cierta cantidad de energía. De este modo al ser excitado exteriormente el átomo, un electrón puede pasar de su órbita a otra interior dando origen a perturbaciones electromagnéticas en su átomo el cual se convierte de este modo en un emisor de radiaciones caloríficas o luminosas. Podemos decir que cuando un electrón cambia de órbita, el átomo admite o absorbe energía en una cantidad determinada para cada átomo y es la que se llama **quantum** de energía, que depende de la frecuencia de radiación. Por lo tanto las ondas luminosas transportan energía que puede manifestarse al chocar sobre un cuerpo; por ej. en nuestra retina origina cambios químicos que llevan a su excitación y sensación luminosa; al incidir sobre un metal alcalino puede arrancarle electrones y dan origen a corrientes fotoeléctricas, etc.

Debemos si insistir que todos los quanta que transporta una onda luminosa son iguales para una misma frecuencia y son indivisibles; estas partículas de luz son los llamados **fotones**.

### **Luz Directa, Reflejada Y Difusa**

La luz que proviene de fuentes luminosas naturales o artificiales (sol, vela, metales incandescentes, etc.) es luz directa. En cambio, al caer la luz directa sobre superficie pulimentadas (vidrios o metales pulidos, superficies liquidas, etc.) se observa que una parte o toda la luz incidente es desviada por la superficie en una determinada dirección obteniéndose luz reflejada (veremos al estudiar la polarización de la luz que la luz reflejadas tiene propiedades diferentes a la directa). Cuando la luz es reflejada por superficies no pulimentadas sale desviada

en todas direcciones; se obtiene luz difusa. Por ej.: la luz que se refleja en una hoja de cuaderno; en un camino pavimentado, en un vidrio esmerilado, etc.

### **6.6.3. Agua.**

El agua, una necesidad fisiológica de toda célula constituye un factor limitante en ambientes terrestres o acuáticos donde sus cantidades fluctúan mucho o bien donde altas salinidades provocan la salida de agua de los organismos por osmosis.

Los principales factores en la disponibilidad de agua son:

- ◆ precipitación pluvial o lluvia
- ◆ humedad y capacidad evaporadora
- ◆ cantidad de agua disponible en la corteza
  
- ◆ Lluvia. La lluvia depende en gran medida de la geografía y del patrón de grandes movimientos de aire o sistemas climáticos
  - Sombra de lluvia
  - Distribución de lluvias

Una aproximación burda de comunidades bióticas climax que pueden esperarse con diferentes cantidades anuales de precipitación uniformemente distribuida en latitudes templadas es:

#### PRECIPITACIÓN ANUAL COMUNIDAD VEGETAL ESPERABLE

- 0-250 mm : Desierto
- 250- 750 mm : Estepa\* o sabana (pastizales + alg.árboles altos dispersos)
- 750 - 1500 mm : Bosque seco
- > a 1500 mm : Bosque húmedo

\* Estepa: área semiárida de pastizales sin árboles

Humedad y capacidad evaporadora. La situación biótica del sistema no sólo depende de la precipitación pluvial sino del equilibrio entre precipitación y evapotranspiración potencial, que es la pérdida de agua del ecosistema por evaporación.

La humedad relativa es la medida del porcentaje de saturación del aire o déficit de presión de vapor. En la naturaleza , normalmente, existe un ritmo diario de humedad.

La humedad es muy importante al modificar los efectos de la Tº y la capacidad evaporadora del aire tiene trascendencia ecológica en mayor medida para las plantas terrestres ya que los animales pueden regular sus actividades para evitar la deshidratación refugiándose o volviéndose nocturnos.

Las plantas no pueden moverse y más del 90% del agua que penetra a la planta por las raíces desde el suelo se pierde por transpiración .

La transpiración concierne a todos los tejidos de la planta expuestos al aire, pero las hojas son la sede de mayor transpiración por medio de los estomas. Sin embargo, este proceso tiene efectos positivos como: enfriar las hojas, ciclaje de nutrientes, transporte de iones desde las raíces, traslocación, etc.

- Eficiencia de transpiración: Es la proporción entre crecimiento y agua transpirada. Se mide en g de materia seca producida por cada 1000g de agua transpirada. Casi todas las especies agrícolas, así como una amplia gama de especies silvestres tienen una eficiencia de transpiración de 2 o menos. Es decir pierden 500 g o más de agua por cada g de materia seca producida. Los cultivos resistentes a la sequía, llegan a tener eficiencias de 4.

- El rocío y las nieblas bajas son especialmente importantes aportando humedad a bosques costeros y desiertos.

◆ Cantidad de agua disponible en la corteza. Mayormente la cantidad de agua superficial disponible se relaciona con la precipitación pluvial del área, aunque debido a fuentes subterráneas de agua o procedente de regiones vecinas, los animales y plantas pueden tener acceso a más agua de la que precipita en forma de lluvia. También puede suceder lo contrario por escape acelerado del agua del sistema.

- Aguas subterráneas. Acuíferos: aguas fósiles, no renovables al menos al ritmo de consumo u ocupaciones actuales. Pozos artesianos: acuíferos bajo presión por inclinación contenido.

### **Ejemplo práctico:**

**Economía del agua:** Relación entre pérdida de **agua evaporativa** y producción de **agua metabólica**

Las adaptaciones para mejorar la eficiencia en la economía o balance hídrico, surgen en respuesta al acomodo de organismos en ambientes áridos, donde el agua es elemento escaso (ejm. Desiertos, altiplano, pampa patagónica, etc.).

Los roedores de hábitat xéricos presentan atributos fisiológicos altamente eficientes en la regulación y conservación de agua corporal. En estudios realizados por Cortes y colaboradores, la respuesta fisiológica de algunos roedores chilenos en ambientes áridos, resulta en una independencia de agua exógena relativa según la especie (máxima en *Octodon degu* y mínima para *Oligorizomys longicaudatus*), postulando que la función renal posee especializaciones, por ejemplo, la concentración de la orina en los periodos más secos, además de cambios en la morfología nasal, con mayor o menor superficie, dependiendo de la necesidad de conservación de agua, similar a lo observado para especies desérticas en otros continentes.

Para evaluar la eficiencia en la regulación hídrica de roedores granívoros desérticos se usa como parámetro, la pérdida de agua por evaporación (EWL) y la producción de agua metabólica (MWP). La vía pulmocutánea ha sido considerada como la fuente de mayor pérdida de agua en

los pequeños mamíferos. Esta vía no sólo tiene importancia en la regulación del balance hídrico, sino que además participa activamente en la termorregulación.

Para el caso de Chinchilla en comparación a otros micromamíferos de hábitats áridos y semiáridos de Chile se observa que la tasa mínima de EWL de *C. lanigera* equivale al 70,7% del valor mínimo obtenido en *O. degus*, especie simpátrida (comparten mismo ambiente) de la chinchilla. El valor más alto de EWL se obtuvo a  $T_a$  de 30°C, magnitud que es similar al mínimo medido en *O. degus*; especie que posee el valor más bajo de EWL dentro de los roedores octodóntidos y múridos de Chile. Esta situación es más extrema aún, si lo comparamos con EWL de algunos múridos de Chile, donde tan sólo equivale al 32,8 y 20,9%. Esta situación hace a esta especie muy eficiente en el balance hídrico, pero muy sensible a problemas relacionados con altas temperaturas (hipertermia).

Las aves que habitan ambientes desérticos han sido modelos de estudio preferidos para el estudio de adaptaciones fisiológicas a la escasez de agua. Las aves paseriformes que habitan ambientes costeros enfrentan problemas similares, debido a que no presentan adaptaciones a la salinidad, como las glándulas de sal en aves marinas, aunque las posibles adaptaciones fisiológicas para la conservación de agua en dichas especies han sido pobremente documentadas. En el estudio realizado por Sabat *et al.* (2004) se determinó la pérdida total de agua por evaporación (TEWL) y la tasa de consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) en tres especies de aves paseriformes que habitan ambientes marinos y de agua dulce.

La pérdida total de agua por evaporación masa-específica es menor en la especie de ambiente marino, *Cinclodes nigrofumosus*, que en especies que habitan áreas cercanas a fuentes de agua dulce. Existe además una relación positiva y significativa entre TEWL y  $VO_2$ . La razón entre TEWL y el  $VO_2$  (pérdida relativa de agua por evaporación, RTEWL) varía entre las especies de *Cinclodes*, siendo mayor para las especies de agua dulce *C. oustaleti* y *C. fuscus*. La variación en TEWL encontrada en *Cinclodes* es probablemente una consecuencia de la explotación diferencial de presas marinas con una alta carga osmótica, lo que a su vez puede imponer la necesidad de conservación de agua.



Churrete común (*Cinclodes patagonicus*) paseriforme de ambientes marinos, consume presas con un alto contenido de sal, por lo que posee adaptaciones para evitar la pérdida de agua

## **7. CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS**

Los grandes cuerpos de agua moderan los climas terrestres dando origen a dos tipos básicos de clima:

- **Clima Continental**: que se caracteriza por extremos de Tº y de humedad
- **Clima Oceánico o marino**: caracterizado por fluctuaciones menores a causa del efecto moderador de los cuerpos de agua.

Clasificaciones generales de clima

- **Clasificación de Köppen**: Tº media anual y la concentración estacional de precipitaciones dando origen principalmente a la clasificación en climas secos y cl. húmedos. Luego presenta una serie de subdivisiones.
- **Clasificación de Thornthwaite** emplea primeramente el cociente P/E (precipitación /evaporación) Mediante éste se reconocen 5 regiones climáticas principales: súperhúmeda, húmeda, subhúmeda, árida y superárida.
- **Diagramas climáticos u ombrotérmicos**: Se emplean gráficos de modo que siempre el verano queda al centro del gráfico (abscisa) Se representan la precipitación y la Tº.

## **8. SUELO.**

Los componentes bióticos y abióticos están especialmente relacionados en el suelo que se define como:

“Un cuerpo natural sobre la superficie de la tierra que está constituido por material orgánico y mineral (incl. organismos del suelo) y en el cual crecen las plantas”

El suelo no sólo es un factor del ambiente de los organismos, sino que es producido por ellos.

El suelo es el resultado de la acción del clima y los organismos, especialmente vegetación, sobre las rocas subyacentes de la superficie de la tierra.

Roca madre desintegrada y transportada por: *gravedad*: depósitos coluviales; *agua*: depósitos aluviales; *glaciares*: depósitos glaciales

## **9. FUEGO**

El fuego constituye en algunas áreas un factor normal y hasta esencial de desarrollo del ecosistema. esas comunidades se adaptan y compensan ese factor de la misma manera que lo hacen con la Tº o con el agua. El fuego es un factor significativo en regiones de bosques y praderas de las zonas templadas y en las áreas tropicales con temporadas de sequía. En muchos casos los incendios son originados por rayos.

Como factor ecológico el fuego es de diferentes tipos y produce distintos efectos. Así tenemos:

- ◆ **Incendios de dosel** o incontrolables: muy intensos para ser controlados y suelen destruir toda la vegetación y la materia orgánica del suelo.
- ◆ **Incendios superficiales**: ejercen efecto selectivo, son más limitantes para unos organismos que para otros, ayudan a la degradación bacteriana al desintegrar cuerpos de plantas y permiten un más rápido reciclaje de los nutrientes, que quedan a disposición de las plantas.

Es frecuente que leguminosas predominen después de incendios ligeros.

Los vegetales han desarrollado adaptaciones al fuego:

- Especies de renuevo, que ponen más énfasis en órganos subterráneos y menos en las estructuras reproductivas (flores sencillas, poco néctar, pocas semillas) y por tanto pueden regenerar con rapidez después que el fuego mató a las partes aéreas.
- Especies que maduran y mueren cuya táctica es la opuesta, es decir producen abundantes semillas resistentes al fuego, que están listas para germinar después del incendio.

Debido a la breve historia de impacto humano en Chiloé, limitada principalmente al siglo 20, y a la persistencia post-perturbación de algunos elementos estructurales del bosque nativo, tales como detritus leñoso y grandes árboles vivos, los bosques en el norte de Chiloé se recuperan luego de incendios moderados. En la medida en que aumente el aislamiento de los bosques remanentes, junto con la recurrencia de incendios u otras formas de impacto humano, su capacidad para recuperar su estructura y biodiversidad original debería disminuir. Los umbrales de deforestación y alteración de rodales a escala del paisaje que pueden alterar las tendencias sucesionales a la escala de los fragmentos de bosque constituyen una importante pregunta abierta (Aravena *et al*, 2002).