11.2.0
MAN
Vol. I

MANUAL DE INGENIERIA AMBIENTAL I

Dirección y diseño:

Elena Castro Martínez

Domingo Jiménez Beltràn

R. 1727

FUNDACION EOI
BIBLIOTECA

Escuela de Organización Industrial

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Depósito Legal: M-41277-1980
ISBN 84-600-2092-4 (T. 1)
ISBN 84-600-2091-6 (O. C.)
Edita: Escuela de Organización Industrial. Mº de Industria y Energía.
Gregorio del Amo, 6 - Madrid-3.

INDICE GENERAL

TOMO I

PROLOGO

PRESENTACION

AREA 1 : BASES AMBIENTALES

1.- MEDIO AMBIENTE, RECURSOS Y TECNOLOGIAS
2.- BIOLOGIA GENERAL
3.- CONCEPTOS BASICOS DE ECOLOGIA
4.- MEDIO FISICO-RECEPTORES
5.- ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE
6.- ALIMENTACION-RECURSOS
7.- SANIDAD AMBIENTAL
8.- SOCIOLOGIA AMBIENTAL

TOMO II

AREA 2 : INGENIERIA AMBIENTAL

1.- PROCESOS CONTAMINANTES
2.- CONTAMINACION ATMOSFERICA

TOMO III

AREA 2 : INGENIERIA AMBIENTAL (CONTINUACION)

3.- CONTAMINACION DE AGUAS
4.- CONTAMINACION DE SUELOS

TOMO IV

AREA 2 : INGENIERIA AMBIENTAL (CONTINUACION)

5.- PROBLEMATICA DE RESIDUOS
6.- CONTAMINACION POR RUIDO Y VIBRACIONES
7.- RADIACTIVIDAD
8.- ESTETICA Y PAISAJE

TOMO V

AREA 3 : GESTION AMBIENTAL. ASPECTOS INTEGRADORES

1.- PLANIFICACION INTEGRAL DE RECURSOS
2.- ECONOMIA DEL MEDIO AMBIENTE
3.- GESTION AMBIENTAL DE LA EMPRESA
4.- MARCO INSTITUCIONAL
5.- LEGISLACION AMBIENTAL
6.- ESTUDIOS Y EVALUACIONES DEL IMPACTO AMBIENTAL

P R O L O G O

En Septiembre de 1977, se celebró en Madrid el Primer Curso de Ingeniería Ambiental, promovido por la Subdirección General del Medio Ambiente Industrial, del Ministerio de Industria y Energía y organizado, conjuntamente, por la Escuela de Organización Industrial y el Instituto de Ampliación de Estudios e Investigación Industrial José Antonio Artigas. A este curso siguieron otros, celebrados en Barcelona, Bilbao, Valencia, Oviedo, Sevilla, Santander, Palma de Mallorca, La Coruña y San Sebastián, organizados, bajo el patrocinio de la citada Subdirección General, por las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros Industriales y de Minas, Colegios de Ingenieros Industriales y de Químicos, y Cámaras de Comercio, Industria y Navegación. A lo largo de tres años han sido diplomados en Ingeniería Ambiental, unos 700 ingenieros y licenciados en ciencias.

Los cursos se han desarrollado en base a 200 horas lectivas y 30 horas de prácticas, y el profesorado ha sido seleccionado entre los más destacados especialistas en cada materia.

Este Manual pretende recoger las experiencias de los cursos, poniéndolas al alcance de los profesionales y servir de guía al futuro profesorado, no planteando limitaciones a la libertad de los organizadores de cursos para su desarrollo, al objeto de lograr su progresivo perfeccionamiento, mantenimiento al día de las disciplinas que se impartan y su adaptación al contexto en que se desarrollen. No obstante, el Ministerio de Industria y Energía, a través de la Escuela de Organización Industrial, coordinará la elaboración de los programas de los diversos cursos, a fin de conseguir la necesaria homogeneización de los mismos en cuanto al alcance, objetivos y exigencias.

Hasta el año 1976, España se encontraba muy atrasada en la preparación de expertos en ciencias ambientales. Esto contrasta con las actitudes de otros países, como Suecia, en que la preocupación por la conservación de la Naturaleza, en general, y la protección de la fauna y flora, en particular, se viene inculcando en las escuelas primarias desde el año 1919. La formación de las generaciones suecas a tan temprana edad, ha dado sus frutos, de suerte que encontrándose Suecia entre los países más industrializados del mundo, es uno de los que disfruta de un medio ambiente más limpio.

En la actualidad, existen bastantes países que cuentan con serios programas de formación ambiental, pudiendo citarse, además de Suecia y Alemania, Bélgica, Francia, Noruega, Canadá, Estados Unidos, Brasil, Filipinas, Venezuela ...

En 1977 se celebró una reunión en Tiflis (URSS), patrocinada por la Organización de las Naciones Unidas, en la que participó España. Con satisfacción, la Delegación española pudo constatar que los cursos de Ingeniería Ambiental que se imparten en España, se inscriben entre los recomendados por la citada Organización.

En el Seminario sobre Ingeniería y Formación en materia del Medio Ambiente, organizado por la FEANI (Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ingenieros), bajo el patrocinio de la UNESCO y el PNUMA, celebrado en Estocolmo en Marzo de 1976, quedaron patentes dos hechos fundamentales:

- La necesidad de que el ingeniero dispusiera de una amplia formación pluridisciplinaria, abarcando conocimientos de biología, sociología, ecología, oceanografía, meteorología, economía, geología,

derecho, etc. Esta formación permitirá al ingeniero descubrir la existencia de los problemas derivados de sus propias acciones, y buscar las soluciones más adecuadas con la ayuda de los especialistas necesarios para cada problema.

- El ingeniero ostenta una gran responsabilidad frente a la Sociedad, por las consecuencias de sus diseños y de sus ingenios.

Este tipo de profesionales debe ser el elemento objetivo que aúne los intereses, por un lado, de la Comunidad, que demanda bienes y servicios en su loco afán consumista y, por otro, del Capital y/o del Estado, que influencia la creación de un orden económico, que bien pudiera ser el menos adecuado para el bien de la colectividad.

Las recomendaciones del Seminario de Estocolmo, debieran marcar la pauta para una profunda renovación del profesional, tanto en el campo de su formación, como en el de la ética profesional. A continuación, se citan las diez más importantes:

1. Los esfuerzos en el campo de la formación en temas ambientales, deben dirigirse, fundamentalmente, sobre el profesorado.
2. En cada centro docente deben crearse departamentos pluridisciplinarios sobre temas relacionados con el Medio Ambiente, a fin de evitar compartimentaciones indeseables.
3. Desde el primer año de estudios, las Escuelas Técnicas Superiores, deben incluir en sus programas, las enseñanzas básicas mínimas indispensables y, en particular, nociones de biología y economía y, quizás, el estudio de casos concretos.
4. Deben evitarse las especializaciones en medio ambiente demasiado limitadas, que pudieran restar sensibilidad sobre los problemas humanos, sociales y otros.
5. Deben formarse, con limitaciones en cuanto al número, ingenieros generalistas en cuestiones ambientales, con amplia educación tecnológica, por supuesto, pero también biológica, socio-económica, jurídica, política, etc.
6. Los Centros docentes, deben desarrollar cursos para postgraduados de formación de profesionales en cuestiones ambientales, con profesores especializados en una amplia variedad de disciplinas relacionadas con el medio ambiente.
7. El profesional deberá sentirse personalmente responsable de que la tecnología no será utilizada en forma perjudicial.
8. Abstenerse de abordar trabajos de ingeniería con posible impacto sobre el medio ambiente, para los que carezca de conocimientos o habilidad necesarios y cuya carencia no pueda ser remediada.
9. Informar al cliente cuando estime que las consecuencias de la ingeniería puedan tener efectos nocivos para el hombre o el medio ambiente.
10. Persuadir al cliente de elegir una alternativa a la solución propuesta en el caso en que la incertidumbre, el riesgo o daño de las consecuencias, no fueran despreciables en comparación con los beneficios y ventajas. Si no tuviera éxito en su gestión, deberá tener una consulta profesional, pensar seriamente en abstenerse de hacer este trabajo de ingeniería, o abandonar el empleo.

Es preciso apuntar que la inquietud medio-ambiental debe sembrarse, con preferencia, entre aquellos que trabajan en el campo de la ingeniería, ya que a éstos, se les atribuye la responsabilidad, ante la Sociedad, de los daños ecológicos originados por la actividad del hombre, como consecuencia de sus diseños y realizaciones. En esta tarea al profesional se le exige una actuación y un dictamen total

mente objetivo, dentro de los estrictos límites que le impone un código de ética profesional.

Para responder a estos objetivos, el profesional debe disponer de una amplia formación pluridisciplinaria, que le permita descubrir la existencia de los problemas derivados de sus propias acciones y buscar las soluciones adecuadas.

Además, hay que señalar que el profesional:

- Deberá cubrir sus limitaciones técnicas con un régimen de consultas similar al que se presenta en en el ejercicio de la medicina, dado el caracter pluridisciplinario de la problemática ambiental.
- Tendrá que asumir la difícil misión de actuar de intermediario entre los políticos y los grupos de presión, entre la Administración y el promotor industrial.
- Estará obligado a aceptar una nueva responsabilidad: romper el mito del "crecimiento cero", mediante la búsqueda de la solución tecnológica que le aproxima al utópico "vertido cero", como única solución alternativa aceptable para los ecologistas y los desarrollistas, aunque no se haya logrado el consenso de los economistas conservadores.

Una meta general de la educación ambiental, es proporcionar los conocimientos indispensables y crear las actitudes necesarias para secundar la política ambiental instrumentada por el Gobierno y las Comunidades Autónomas, e impulsado por el movimiento ecologista.

La educación ambiental no debe limitarse a la formación de expertos, sino que debe perseguir la creación de un sentido de responsabilidad a nivel profesional y comunitario. No sólo son las acciones individuales del empresario o del profesional las que pueden atentar contra la Naturaleza, es igualmente grave la inconsciencia de toda la Sociedad, cuya suma de acciones individuales es capaz de transformar todo un ecosistema, al romper el equilibrio ecológico de todo un sistema natural, por grande que éste sea.

Los cursos de Ingeniería Ambiental no persiguen propiamente la formación de especialistas puros en ciencias ambientales, sino la capacitación de profesionales en la complicada tarea de descubrir donde pueda existir o surgir un problema ambiental y de participar en su resolución, en equipo, partiendo de la base de que se trata de un tema multidisciplinario.

El objetivo de estos cursos y de este Manual es, en definitiva, crear un marco ambiental en el esquema mental del profesional, que motive sus futuras actitudes como profesional y como ciudadano.

Los beneficios concretos que se desprenden de este tipo de cursos, es que los que pasan por ellos se convierten en excelentes colaboradores de la Administración Ambiental. Antaño, las relaciones entre la Administración y las empresas contaminadoras, eran realmente difíciles, mientras que ahora, a través de los diplomados en Ingeniería Ambiental, se hallan más abiertas al diálogo.

El Ministerio de Industria y Energía, es consciente de la importancia de que en cada industria, potencialmente contaminadora de la atmósfera, exista un Servicio especializado en la lucha contra este tipo de contaminación, al estilo de los que existen en otros países como Estados Unidos y Japón. Dicho Servicio, debe tener tanta importancia como pueda ser el Servicio Contraincendios, el Servicio de Asistencia Sanitaria o el Servicio de Mantenimiento. Cualquier fallo en el tema de la contaminación puede ser muy caro.

La responsabilidad del director del Servicio de prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera, es lo suficientemente grande, como para que el Ministerio de Industria y Energía haya querido asegurarse de que tenga una formación especial. El legislador, pués, incluyó en la Orden Ministerial de 18 de Octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera, la exigencia de que al frente del citado Servicio figurara un titulado competente, diplomado en Ingeniería Ambiental por un Centro debidamente reconocido por el Ministerio de Industria y Energía, de acuerdo con el de Universidades e Investigación. A este objetivo van orientados los cursos de Ingeniería Ambiental.

Aunque la motivación primera de estos cursos fue la especialidad del medio ambiente atmosférico, ya desde el principio, abarcaron toda la problemática medio-ambiental, aire, aguas, ruidos, olores, resíduos sólidos, suelo, fauna, flora, paisaje, patrimonio histórico, artístico y cultural, etc., cobertura que pretende mantener este Manual, completando en sucesivas ediciones, favorecido por su diseño, los temas no tratados en esta primera edición.

Confío en que este Manual contribuirá a crear la conciencia necesaria entre los responsables de la degradación del medio ambiente, y a proporcionar los conocimientos mínimos indispensables a los que están empeñados en preservar dicho medio, afín de que esta semilla pueda germinar en un próximo futuro y existan hombres capaces y dispuestos a crear una Sociedad más humana, que deponga sus armas en su lucha contra la Naturaleza.

ALFONSO ENSEÑAT DE VILLALONGA
Subdirector General del Medio Ambiente Industrial

PRESENTACION

La presentación de este Manual, exige necesariamente recordar los objetivos con los cuales se inició su desarrollo:

- Recoger y divulgar la experiencia de los cursos de Ingeniería Ambiental.
- Servir como documento de información y orientación para futuros cursos, así como de base para revisión y actualización progresiva y periódica de los distintos temas.

Para responder a estos objetivos, se decidió estructurar su contenido en las bases siguientes:

- Presentación progresiva de los temas, pasando de lo general a lo particular y, posteriormente, a su integración en los niveles gestores.
- Diseño que cubra ampliamente la temática de la Ingeniería Ambiental, con la previsión de incorporar periódicamente temas, hasta ahora no tratados, y que en su momento puedan adquirir una importancia coyuntural.
- Edición flexible que permita una fácil revisión periódica de los temas, con vistas a su desarrollo o sustitución, si fuera el caso, pues entendemos que el texto siempre podrá ser mejorado a medida que la ciencia o la técnica aplicadas a la ingeniería ambiental, vayan dando su fruto.

La división del programa en tres grandes áreas: Bases Ambientales, Ingeniería Ambiental y Gestión Ambiental, tiene como fin la ya señalada formación progresiva del lector del Manual.

Las BASES AMBIENTALES, introducen al alumno en la problemática ambiental, estableciendo el marco general en que debe desenvolverse el especialista ambiental que, aunque no pueda incidir sobre él, será el que plantee la necesidad de una intervención. Su fin es, por consiguiente, dar al alumno una formación general sobre el medio ambiente.

La segunda área, INGENIERIA AMBIENTAL, incluye los temas específicos base para actuación del técnico en la materia. Pretende dar una formación de tipo básico que, posteriormente, permita al alumno especializarse o, al menos, consultar la información más específica, ya sea para desarrollar el diseño de sistemas correctores o para interpretar y analizar los trabajos que, sobre este tema, hayan realizado otros especialistas.

Finalmente, el área de GESTION AMBIENTAL, tiene un doble objetivo. Por una parte, integra los temas anteriores en instrumentos operativos y, al mismo tiempo, ofrece una panorámica de las actuaciones a niveles superiores (legislativo, directivo, etc.).

Como se podrá observar en la portada de los distintos temas, no se ha podido contar con la participación de todos los profesores de estos cursos por razones de medios, tiempo , dispersión espacial, etc., aunque, de una forma indirecta, queda reflejada la experiencia de cada uno de ellos en la impartición de estos cursos.

Esperamos que todas las deficiencias que el Manual pueda tener, se subsanen a través del sistema de revisión periódica, para lo cual, solicitamos las sugerencias de todos los interesados.

Por último, queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los que han colaborado en la elaboración del Manual.

A D. Alfonso Enseñat de Villalonga, Subdirector General del Medio Ambiente Industrial del Ministerio de Industria y Energía, por patrocinarlo.

A los profesores de los cursos de Ingeniería Ambiental, no sólo a los autores de los diferentes textos utilizados y a los que han realizado la tarea de reordenarlos y clasificarlos, sino también a todos los demás que, como hemos señalado anteriormente, nos han suministrado su experiencia docente.

Finalmente, no podemos olvidarnos de agradecer su inestimable colaboración al equipo que ha llevado a cabo las tareas, especialmente ingratas, de mecanografía, montaje y presentación final. Este equipo está compuesto por : Azucena Asensio, Mª Carmen Fernández, Teresa García, Paquita García, Angeles López, Manuela Ruiz y Mª Carmen Villagarcía; y Antonio Alfaro, José Antonio Carabias, Roberto Espinosa, Manuel Leiva y Antonio Peinador.

ELENA CASTRO MARTINEZ
DOMINGO JIMENEZ BELTRAN

TEMA 1

MEDIO AMBIENTE: RECURSOS-TECNOLOGIAS

ELABORADO POR:

DOMINGO JIMENEZ BELTRAN

INDICE

Pág.

1.- MEDIO AMBIENTE. CONCEPTOS BASICOS. CARACTERIZACION DEL PROBLEMA 1

2.- RECURSOS Y MEDIO AMBIENTE 4

3.- TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE 7

4.- AREAS DE ACTUACION BASICA DE TECNICOS Y EXPERTOS EN INGENIERIA AMBIENTAL Y CIENCIAS APLICADAS AFINES 9

Olvidándonos de la redundancia del término, por otro lado plenamente aceptado a nivel público, y apartándonos de la polémica existente para dar una definición correcta de "Medio Ambiente", polémica que en muchos casos obedece a un intento de las disciplinas tradicionales, o de los profesionales a ellas adscritos, de cubrir el tema con sus competencias, podríamos resumirlo, restringiendolo al hombre, en "todo aquello externo al hombre (o a otro ser vivo) que de alguna forma le afecta" y cubriendo no solo el medio natural sino también el artificial ya que como dice el primer parrafo de la Declaración de la Conferencia de las Naciones sobre el Medio Humano (Estocolmo, Junio 1972):

"... Los dos aspectos del medio humano, el natural y el artificial, son esenciales para el bienestar del hombre y para el goce de los derechos humanos fundamentales, incluso el derecho a la vida misma".

Esta definición plantea un doble desafío al abordar un tema como el objeto de este manual de Ingeniería Ambiental ya que no se plantea con la única perspectiva de enfrentarse a un desarrollo tecnológico equivocado, o incontrolado, para una mejor defensa del medio natural sino, básicamente, para presentar las bases científicas e instrumentos técnicos que permitan una optimización del medio humano a través de una armonización del medio natural y artificial.

El Medio Ambiente no puede traducirse en una disciplina única sino que resulta en una conjunción de muchas en las que la palabra clave es la SISTEMATIZACION, ya que la única forma de llegar a comprender nuestros problemas ambientales es a través del estudio del comportamiento de los sistemas, donde cualquier modificación puede producir reacciones en cadena, cuyo marco geográfico puede ser todo el Planeta y cuyas perspectivas en el tiempo pueden ser a muy largo plazo.

Como podría mantenerse este planteamiento en un Manual de Ingeniería Ambiental cuyo objetivo específico es un tratamiento sectorial del mismo? Solamente a través de una estructuración en la que persista en las bases un tratamiento multidisciplinario y, descendiendo, luego, más al detalle, en los temas específicos de Ingeniería y sin olvidar hacer, finalmente, una introducción hacia los instrumentos que permiten una actuación Integral, único camino para la optimización de los Sistemas.

En cualquier caso y olvidándonos del tratamiento metodológico del tema lo que si tiene interés es una primera identificación de los problemas a resolver que de alguna forma permiten centrar la actividad del Técnico.

El Banco Mundial en su publicación "Environment & Development" distingue tres grandes categorías:

Problemas globales: Los más graves, planteados a nivel mundial. Puede citarse como ejemplos el problema de pesticidas persistentes o acumulativos, variaciones climatológicas por el aumento en el uso de combustibles fósiles (afecta al balance de dioxido de carbono, aumenta las concentraciones de anhidrido sulfurosos, lluvias ácidas,...); contaminación de los oceanos desde tierra o barcos, erosión y desertificación....

Problemas regionales: O a escala supranacional que plantean problemas serios entre países que los provocan y afectados; como puede ser la contaminación de los cauces de grandes cuencas, la contaminación atmosférica transfronteras, contaminación del mar por países vecinos....

Problemas locales: Los que pueden enmarcarse dentro del propio país y aun dentro de areas determinadas del mismo o zonas muy restringidas, pudiendo referirse a la contaminación atmosférica provocada por una industria, la entrofización de un enbalse producida por los vertidos de asentamientos urbanos o la pérdida de activos recreativos por una planificación inadecuada.

Aunque la escala espacial a la que el Técnico muchas veces se ve obligado a trabajar puede ser de tercer orden (caso del saneamiento de una cuenca. Problema local amplio), o inferior (Instalación de medidas correctoras. Control o monitorización de un vertido...) no debe olvidarse que su acción, bajo la perspectiva ambiental, se encuadra en escalas superiores citadas y de las que deben dimanar las directrices para una optimización sistematizada. Desgraciadamente, suele haber una dicotomía total en las acciones a las distintas escalas mencionadas, pudiendo decirse que, hasta el nivel local, las actuaciones de protección ambiental suelen estar dominadas por planteamientos políticos, a veces poco prácticos, y es a partir de este nivel en el que se han emprendido acciones concretas, cuya efectividad deja mucho que desear, por la inexistencia de un marco de actuación coherente.

En estas circunstancias el papel del técnico adquiere una gran relevancia, ya que unos planteamientos sólidos por su parte pueden determinar un flujo ascendente de mentalización, de exigencia, de responsabilidades y de involucración personal, de gran repercusión en el planteamiento y resolución de los problemas.

Por otro lado la sistemática antes indicada como necesaria exige no solo una clasificación espacial de los problemas, sino acudir a variables de otro tipo.

Caracterización y diferenciación de los problemas ambientales.

- Por el plazo que transcurre para su identificación, plazo que de alguna manera expresa la confirmación de un riesgo previsible y permite intervenciones más precisas (Todavía no se han confirmado los tan temidos efectos del incremento del CO_2 en la atmósfera y sin embargo el problema de la persistencia de pesticidas se ha manifestado ya por sus efectos).

- Por el grado de reversibilidad de las situaciones, es decir por el grado de recuperación que admite el sistema una vez detectada la alteración.

Esta variable es de gran importancia para el técnico a la hora de establecer los planes y programas de vigilancia, ya que las actuaciones son muy distintas según dicho grado de reversibilidad, así por ejemplo un problema de polvo en la atmósfera a partir de fuentes fijas puede atajarse sin más que detener la emisión, una vez detectados niveles de inmisión superiores a los normales, se trata de una situación reversible controlable a partir de detección de niveles de inmisión.

Un caso contrario al anterior puede ser el planteado por los oxidantes, cuyos precursores son los oxídos de nitrógeno y los hidrocarburos; cuando se presenta un problema de oxidantes no sirve de nada, a corto plazo o para evitar el episodio, el cese de emisión de los precursores, es una situación irreversible cuya presentación hay que controlar a través de un sistema de previsión.

- Por la gravedad de los riesgos o daños involucrados, lo más importante de esta diferenciación es que hay que inscribirla en entornos concretos y no pueden referirse únicamente a las causas, es decir que un vertido que en una cuenca, o tramo de una cuenca, es un gran problema, no lo es en otra

cuenca o tramo de la misma. Este aspecto crea grandes dificultades a la hora de intentar reglamentaciones muy estrictas o completas, ya que estas reglamentaciones pretenden referirse a las causas sin atender a su localización, pues esto último exige la consideración de los problemas caso por caso, lujo que sólo pueden permitirse Administraciones muy potentes y bien dotadas.

A la clasificación anterior cabría añadir una más difícil, pero que no hay que olvidar, tanto por su realidad como para evitar a veces una confusión de temas, y es la diferenciación de problemas ambientales derivados del subdesarrollo (o pobreza en países tercermundístas) de los que pueden adscribirse al desarrollo económico, esta diferenciación y, sobre todo, el admitir ciertas degradaciones ambientales del segundo tipo, para disminuir las del primero, suele ser la gran disyuntiva a la hora de realizar los Estudios de Impacto Ambiental, disyuntiva que se ha demostrado no puede solucionarse en términos científicos y técnicos, sino fundamentalmente, a través de mecanismos de aceptación de riesgos por parte del público afectado o interesado.

Como resumen, digamos que los problemas ambientales tienen unas características que de alguna forma deben ser asumidas por el técnico o experto interesado en su solución:

- Necesidad, como se indicó anteriormente, de una SISTEMATICA en los planteamientos, derivada de las interacciones y complejidad de los sistemas afectados, lo que exige intervenciones multidisciplinares e interdisciplinares.

- Exigencia de una PLANIFICACION INTEGRADA, como resultado, tanto de las repercusiones a medio y largo plazo como de los intereses, competencias, atribuciones y responsabilidades de las distintas partes involucradas, y recursos afectados.

- ESPECIFICIDAD de cada situación conflictiva causa (actividad o proyecto)-efecto (receptor, entorno), derivada de las variables tanto físicas como biológicas y socioeconómicas asociadas; casuística que muchas veces hace difícil el establecimiento de una legislación o reglamentación, en cuyo desarrollo se malgastan muchos esfuerzos, que podrían dirigirse a una estructuración de cuerpos expertos que pudieran estudiar las situaciones caso por caso.

En forma general es importante señalar que, de acuerdo con estas peculiaridades, el diagnóstico y solución de cada problema ambientales exige el seguimiento de metodologías coordinadas y de aproximación progresiva, de tal peso e interés que deben incluirse en la categoría de Investigación, de tal forma que entre los grandes componentes del proceso diagnosis (o previsión) ⟶ ensayos y desarrollo de medidas correctoras ⟶ corrección, se cuente no solo con las técnicas ambientales sino también con los métodos y todo ello sin olvidar la gran importancia de la investigación bibliográfica o de experiencias similares sintetizable en el método de "escenarios comparados".

Los recursos naturales pueden considerarse como los dones de la naturaleza, cuantificables o solo cualificables, de los cuales el hombre se aprovecha en forma variable, espacialmente, socialmente y con el tiempo.

La problemática de los recursos en su vertiente ambiental se plantea bajo distintos aspectos:

• Su existencia, muchas veces limitada y desigualmente distribuida, y que requiere una planificación de su explotación en espacio y en el tiemp.

• Su explotación o uso, que exige a veces la aplicación de tecnologías no siempre accesibles y seguras y que requeriría una intervención equilibradora y de control.

• La producción de residuos o subproductos asociada a su explotación, cuyo control deja de ser interesante por lo que acaban en los lugares menos apropiados, y que requeriría políticas de reciclaje.

Cada uno de estos aspectos plántea problemas ambientales cuyà solución pasa a veces por modificaciones sustanciales en las formas de vida y escalas de valores actualmente en uso. Así como la palabra mágica al abordar la problemática ambiental desde el punto de vista de instrumentación técnica es SISTEMATIZACION, la palabra clave para establecer un orden ambiental en la explotación de recursos es PLANIFICACION INTEGRAL.

Es indudable que el problema de la contaminación está muy relacionado con el uso inadecuado de recursos y subproductos no utilizables o reciclables, generados en su ciclo de apiicación y transformación, debiendo recurrirse, como política ambiental, al establecimiento de soluciones integrales, en la planificación de dicho uso.

En la naturaleza todos los ciclos presentan otros ciclos parciales que se ocupan de los subproductos, son cerrados, en contraposición con los utilizados por el hombre, que, en un principio, se permitía el lujo de partir de buenas materias primas con pocas transformaciones (pocos resíduos) y de uso local (poco transporte).

En la actualidad hay que recurrir cada vez a materias primas más pobres (minerales, combustibles..) y en puntos más distanciados de su consumo o uso final, este unido a la mayor exigencia en la producción por:

- Aumento de población.

- Políticas consumistas basadas en :
  . Facilidad de adquisición
  . Productos baratos (poca calidad y baja duración):
  . Más barato tirar que reparar.

Todo lo cual determina un uso cada vez mayor de recursos y además un aumento de los resíduos por unidad de recurso.

Con estos antecedentes y sin meternos en aspectos socio-políticos de un marco tan trascendente que supera el nacional y que por supuesto es el nivel al que debe plantearse una solución final efectiva

es muy importante el empezar a considerar soluciones integrales, aunque sea a escala local.

Las políticas planteadas actualmente en algunos países, dirigidas a:

- Reducir el consumo de materias primas de primera aportación.
- Reducir la descarga o acumulación de resíduos en la naturaleza.

A través de :

- Reducir los incrementos anuales en el consumo de materias primas, suma de extraidas y recicladas.
- Incrementar la vida de los productos.
- Incrementar el porcentaje de productos reciclados.

Ha, permitido observar:

- Si continúa el aumento anual en el consumo de materias primas, aunque aumente la vida de los productos, el grado de reciclado tiene poca influencia en el consumo de materias primas extraidas, aunque es cierto, por otro lado, que el grado de reciclado tiene gran importancia en las cantidades de residuos que se vierten o acumulan en la naturaleza.

- Si se reduce el incremento del consumo de materias primas, aumenta rapidamente la repercusión o significado del aumento de vida de los productos y del grado de reciclado.

Como resumen de lo anterior puede asegurarse que la solución está en una mejor utilización de las materias primas y de la energía como recursos básicos.

No podemos terminar este capítulo sin hacer una mención especial de la energía; el problema de desarrollo planteado por la gran dependencia de los combustibles fosiles tan limitados y contaminantes en su uso, como preciosos para otros usos más nobles, y la contestación creada por la energía nuclear han permitido, quizás, crear una situación esperanzadora de solución del problema ambiental a largo plazo, al entrar en juego las energías renovables y la revalorización energética de los resíduos.

La explotación de la energía solar a través de la agroenergía y con el consiguiente desarrollo de la agroquímica y procesos bioquímicos, como bases de producción de materias primas y combustibles y la facil insertación en dichos procesos de esquemas de revalorización de resíduos (lodos, basuras domésticas, resíduos industriales y agroganaderos), abre unas grandes expectativas a la solución del problema ambiental a través de las presiones de la crisis energética; esto sin olvidar los conflictos ambientales derivados del desarrollo de la agroenergía (conflictos con recursos alimentarios, uso y explotación intensiva del suelo, conflictos con la vegetación natural).

Los nuevos planteamientos ofrecen unas bases para un mínimo optimismo responsable hacia el futuro en el tema energético ya que, por primera vez, se habla de soluciones que no se manifiestan como de urgencia, que pueden ser permanentes; hasta el momento las soluciones al problema energético y de recursos eran siempre "las menos malas", o las únicas para responder al incremento inmediato de la demanda, y siempre con la perspectiva del agotamiento del recurso y la necesidad de aceptar unos riesgos, o conflictos ambientales, (siempre aceptables a nivel general y nunca en el contexto local) debido a los beneficios socioeconómicos (o atenuación de los problemas ambientales derivados

directamente del subdesarrollo) que comportaba.

Por último y conviene recalcar por las características de este Manual dirigido a Tecnicos principalmente involucardos en la protección del Medio Físico (Aire, agua, suelo) el gran valor como recurso de dicho medio incluido en el Principio 2 de la Declaración de Estocolmo.

"Los recursos naturales de la Tierra, incluídos el aire, el agua, la tierra...., deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante una cuidadosa planificación u ordenación según convenga".

De una forma simplista la tecnología puede definirse como los métodos o procesos que el hombre ha ido desarrollando para obtener algo. Como indicabamos antes, en un principio, se aplicó a productos para conseguir una máxima duración (mínimo, una generación), ahora se aplica a generar productos al mínimo costo, a través de hacer máxima la producción del trabajo, siendo las características de la tecnología occidental (desarrollada en los dos decenios que siguieron a la Guerra Mundial):

- Intensa en capital por puesto (más máquinas y energía).
- Grandes Empresas (Intensidad efectos locales).
- Centralización (Máxima circulación).
- Utilización de las materias primas más accesibles (Empeoramiento contínuo. Mínima optimización de uso). Utilización del vertedero más cercano y accesible (Intensidad local de la contaminación).
- Rápida introducción de nuevas teconlogías (Más residuos y consumo de nuevos recursos).

Siendo indudable la necesidad de un cámbio de tecnologías, para mayor duración de productos en un mundo limitado:

- Uso mínimo de energía y materias primas.
- Recirculación máxima de materias.
- Reparar antes de producir. Productos diseñados para facilitar reparación antes que nueva producción
- Ahorro de recursos faciles para favorecer el futuro.
- Descentralización (Repartir la carga sobre el medio) y disminución de tamaños.

y tecnologías para mejora de países no industriales (intermedia, popular, apropiada) :

- Uso de mano de obra, que sobra.
- Uso mínimo de capital
- Utilización de materias primas propias.
- Utilización de instalación y piezas que se puedan construir localmente
- Utilización de los conocimientos técnicos más avanzados (con los otros condicionantes) y aprovechamiento experiencia local de generación.

Y tecnología para reducir la vulnerabilidad de la actual (caos con accidentes mínimos...), favoreciendo:

- Deseo de hacer previsiones a medio y largo plazo (energías alternativas...).
- Descentralización (efectos parciales).
- Tecnologías "poco explosivas", poco sensibles, que requieran grandes cambios antes de que vayan mal.
- Menor especialización, menor dependencia de un funcionamiento perfecto.

- Soluciones que sean fiables.

A veces se puede uno plantear si la razón para no tener hoy nergía solar, vehículos no contaminantes, instalaciones en pequeña escala, es porque no lo hemos querido con suficiente fuerza.

A todo esto hay que añadir las dificultades o imposibilidad de prever todos los efectos de una nueva tecnología, muchos no se pueden prever y otros no son los previstos.

Como criterios finales, es interesante recordar las cuatro leyes de Barry Commoners a la hora de seleccionar una tecnología:

- Todo está relacionado (Todo influencia a todo).
- Todo va a algún sitio.
- La naturaleza es quien más sabe (Es la experiencia la que vale, no la teoría).
- No se puede cenar gratis (No se puede sacar algún provecho, comer, sin que alguien pague la cuenta.

Por último, habría que hacer una aclaración sobre las que se empiezan a llamar "tecnologías limpias" es decir poco productoras de residuos y contaminación consiguientes y es que, a veces, lo son por ser "intensamente correctoras", es decir que aún siendo la tecnología básica muy contaminante, se han introducido medidas correctoras avanzadas que se consideran parte del proceso básico, y que provocan efectos inducidos sobre otras actividades (inversión, consumo energético...) y consiguiente contaminación.

En general, y sin entrar en distinciones de toda la casuistica que exigiría una clarificación exacta, podemos distinguir las tecnologías recogidas en el esquema siguiente, en el que se señalan los aspectos positivos y negativos de cada una de ellas, incluyendo la "tecnología intermedia" entre las dos mencionadas anteriormente, como tecnología en versión "país en desarrollo" de la tecnología occidental.

COMPARACION DE TECNOLOGIAS

	Aspectos positivos	Aspectos negativos
TECNOLOGIAS LIMPIAS:	- Bajo impacto ambiental - Aceptación Internacional.	- Inversión elevada - Tecnología avanzada (Paro) - Costo operación alto. - Difícil integración en el sistema. - Uso inadecuado de recursos.
TECNOLOGIA INTERMEDIA:	- Tecnología asequible - Costos medios - Inversión baja.	- Posible impacto ambiental alto. - Integración dudosa en el sistema. - Uso dudoso de recursos.
TECNOLOGIA APROPIADA:	- Tecnología propia. - Autonomia. - Uso adecuado de recursos. - Impacto ambiental admisible. - Inversión baja.	- Dudosa aceptación internacional. - Posible costo de operación alto (Mano de obra intensiva).

Teniendo en cuenta el papel, un poco introductorio, de este tema hemos creído interesante hacer, en forma esquemática, una revisión de areas problema en las cuales los técnicos y expertos (no solo en Ingeniería Ambiental sino también en otras Ciencias aplicadas, siendo difícil separar hasta donde llega cada especialidad por la interdisciplinaridad necesaria), han hecho aportaciones significativas hasta el momento, sobre todo en aspectos básicos y que podríamos llamar de Investigación Aplicada (terminología que cubre casi cualquier intervención de expertos o técnicos en este campo, dada la especificidad y casi novedad de cada actuación) y señalando, además, los aspectos que exigen un desarrollo más claramente detectado a partir de los problemas existentes.

Dada la extensión que requeriría el tratamiento en profundidad y que el interés se reduce a ambientar, en una primera visión de conjunto, a los técnicos, en las exigencias que la problemática ambiental le plantea, hemos preferido hacer esta introducción en forma de cuadro, en el que se indica, junto a cada área, los avances realizados y las exigencias detectadas, todo de una forma que puede ser discutible por su simpleza, pero que pretende cumplir una función meramente orientativa.

INVESTIGACION APLICADA AL MEDIO AMBIENTE (Resumen D.J.B. 10-80)

CAMPOS DE ACTUACION	AVANCES Y RESULTADOS	NECESIDADES
1- Evaluación y control de efectos.	- Ensayos toxicidad y metodos "screening" productos.	- Ensayos y métodos más rápidos.
- Transporte y evolución de contaminantes.	- Modelos de simulación. En medios específicos. Transf. medio a otro.	- Contrastación de modelos. Extensión a contaminantes secundarios y a la biocenosis.
- Alteraciones ecológicas	- Inventariado especies. Controles experimentales. Mediciones " Exposición o dósis (Mod.) Acumulación contamin.(Mod.)	- Métodos o modelos de previsión de alteraciones considerando condiciones específicas, efectos sinergicos. Explot. y contraste bibliografía.
- Alteraciones sobre la salud.	- Experimentos toxicológicos con animales ó clínicos de exposición controlada. Estudios epidemiológicos.	- Metodologías y técnicas para realización de estudios epidemiológicos fiables.
- Desarrollo de criterios básicos de calidad ambiental.	- Criterios básicos de contaminantes primarios asociados o poco diferenciados.	- Criterios de contaminantes específicos y sus formas. Indices de calidad.
2- Diagnosis y control de la calidad ambiental.	- Monitores. Transmisión y proceso de datos. Indicadores biológicos	= Normalización de métodos. Homologación de aparatos. Control de alteraciones finales.
3- Sistemas de previsión.	- Identificación conflictos. Modelos previsión alteración medio físico. Técnicas inventariar situaciones pre y posoperacionales.	- Tecnicas investigación conflictos sociales y socioeconómicos.
4- Procesos industriales.		
- Desarrollo de recursos renovables (agro-forest)	- Sistemas de gestión integral. Evaluación impacto.	- Evaluación riesgos medio y largo plazo.
	- Sistemas integ. aplic. pesticidas	
- Tecnologías	- Desarrollo Tecn. limpias - Desarrollo parcial tecnologias apropiadas.	- Aplicación nuevos criterios diseño.

INVESTIGACION APLICADA AL MEDIO AMBIENTE (Continuación)

CAMPOS DE ACTUACION	AVANCES Y RESULTADOS	NECESIDADES
- Materias primas, procesos residuos, productos.	- Recuperación zonas mineras. Reciclado o recuperación residuos y mejora gestión tóxicos. Mejora procesos Productos menos confl. amb.	- Diseño integral zonas industriales (Optimiz. uso recursos y util. residuos). - Mejora diseño productos y equipos (duración, facil reparación)
- Instalaciones correctoras.	- Desarrollo técnico avanzado.	- Estudios viabilidad costes económicos y sociales/beneficios ambientales. - Criterios para aplicación general y específica. - Técnicas control en operación.
- Planes de vigilancia y control.	- Sistemas integrados actividad-entorno.	- Diseños específicos.
5- Energía (No Nuclear)	- Evaluar y minimizar alteraciones tecnología en uso. - Estudios Imp. Ambiental. - Mejora instal. correctoras. - Mejora combustibles y combustión. - Dismin. alter. ext. comb. - Emisiones mot. automoviles.	- Tratamiento integral en fases de Planificación - Optimización ambiental de Planes energéticos. - Integración contexto local. - Uso de residuos (cenizas, calores residuales...)
	- Desarrollo energías alternativas. - Solar, eólica... - Bioenergía-Agroenergía.	- Potenciar aplicación. Estrategias desarrollo local.
6- Sector Publico Residuos. Aguas. Abastec. Dep. Infraest. Equip. Gestión	- Gestión integral (Diseño) - Gestión integral (Diseño) - Gestión integral	- Estrategias aplic. gest. integral. - " " " " - " " " " en contextos limitados.

TEMA 2

B I O L O G I A

ELABORADO POR:

M. CLEMENTE MUÑOZ

J. E. HERNANDEZ BERMEJO

EN BASE A APUNTES DE CLASE DE:

M. CLEMENTE MUÑOZ

C. GOMEZ CAMPO

J. ESTEBAN HERNANDEZ BERMEJO

INDICE

Pág.

1.- BIOQUIMICA 1
2.- FISIOLOGIA: PROCESOS GENERALES 14
3.- PRINCIPALES GRUPOS TAXONOMICOS 30

1.1.- ELEMENTOS ESENCIALES PARA LOS SERES VIVOS:

Cuatro de los elementos químicos mas ampliamente distribuídos en la superficie de la tierra, forman casi el 95% del peso de la materia viva: el oxígeno forma el 62%, el carbono el 20%, el hidrógeno el 10% y el nitrogeno el 3%. El 5% que resta lo forma 30 elementos.

Hay elementos que son esenciales para todos los organismos:

Macroelementos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, magnesio, calcio y cloro y los Microelementos: manganeso, hierro, cobalto, cobre y zinc. Existen elementos esenciales que sólo lo son para parte de los seres vivos, este es el caso de : sodio, boro, vanadio, molibdeno iodo, silicio, aluminio, etc..

La mayoría de estos elementos se presenta bajo forma de compuestos en las células: compuestos -- minerales o inorgánicos y los compuestos complejos u orgánicos que contienen carbono.

El componente inorgánico celular más importante es el agua, que se encuentra dependiendo del tipo de células en proporciones del 5 al 90%.

Los sólidos minerales forman los restantes componentes inorgánicos de las células y se encuentran constituyendo depósitos más o menos grandes (cristales intracelulares o precipitados sólidos en el - exterior de las células).

Hay minerales que se encuentran en solución en la célula, ya sea libremente o combinados con compuestos orgánicos, la mayor parte de ellos se encuentran en forma iónica (H^+, Ca^{++}, K^+, Na^+, Mg^{++}, OH^-, $CO_3^=$, HCO_3^-, $PO_4^{\equiv}$, CL^-, $SO_4^=$, etc.).

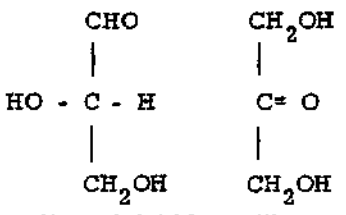
Los compuesto orgánicos son aquellos en los que los enlaces principales de la molécula son de carbono-carbono y carbono-hidrógeno. Exísten cuatro grupos principales de compuestos orgánicos que se hallan presentes en la mayoría de las células y forman la base química de la materia viva: hidratos de carbono, lipidos, proteinas y nucleótidos.

2.1.1.- Hidratos de Carbono: Son productos bioquímicos formados en las plantas durante el proceso de fotosíntesis. Son los primeros intermediarios en la incorporación de carbono inorgánico, hidrógeno y energía luminosa a los seres vivos. Tienen la estructura química de polihidroxialdehidos o polihidroxicetonas.

Las sustancias pertenecientes a esta clase de compuestos, pueden ser divididas en tres amplias categorías: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los monosacáridos tienen las estructuras - químicas más sencillas mientras que oligo y polisacáridos están formados por unidades de monosacáridos.

La fórmula empírica de un monosacárido es: $C_n H_{2n} O_n$ en donde n puede variar entre 3 y valores, por lo general no superiores a 8. Estos compuestos se agrupan según el número de átomos de carbono que contienen y así se puede hablar de triosas, tetrosas, pentosas, hexosas, heptosas.

El (gliceraldehido) y la dihidroxicetona son las únicas triosas y su fórmula es:

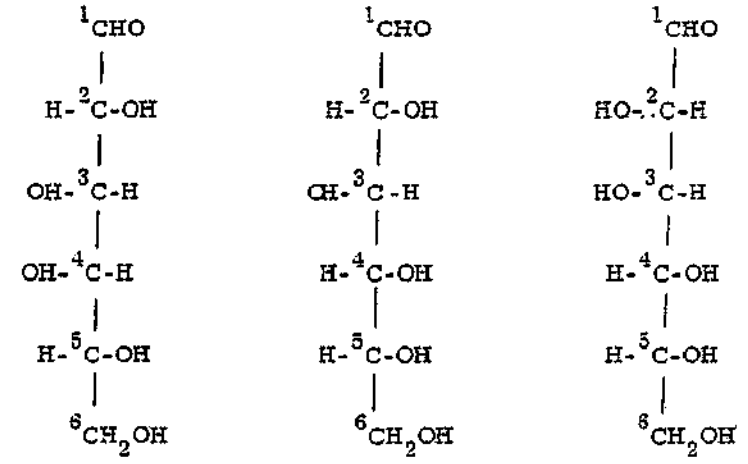


L. gliceralelehido dihidroxicetona

La eritrosa es la única tetrosa natural.

Las pentosas, están ampliamente representadas en todos los organismos, actúan como intermediarios, en forma de derivados fosfatados, en ciertas vías metabólicas y son parte de moléculas más complejas como ácidos nucléicos y coenzimas. Las pentosas más corrientes son la desoxiribosa y la ribosa. Las hexosas, son muy frecuentes en los seres vivos y desempeñan importantes funciones fisiológicas. La fórmula empírica $C_6H_{12}O_6$ representa a dieciseis hexosas simples, todas con estructura CH_2OH CHOH CHOH CHOH CHOH CHO. Estas diferentes hexosas se originan por diferentes disposiciones de los grupos (CHOH) en el espacio (estereoisomería).

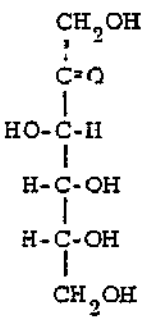
Así galactosa y glucosa tienen estructuras idénticas, a excepción de la disposición espacial del H y OH unidos al carbono 4 y manosa y glucosa difieren en el carbono 2. Ello da lugar a otras azúcares



D. Galactosa D. Glucosa D. Manosa

distintos con diferentes propiedades químicas y fisicas.

La diferencia estructural entre fructosa y otras hexosas, radica en la presencia de un grupo cetoni co en el carbono 2 en lugar de un aldehido en el carbono 1.



D. fructosa

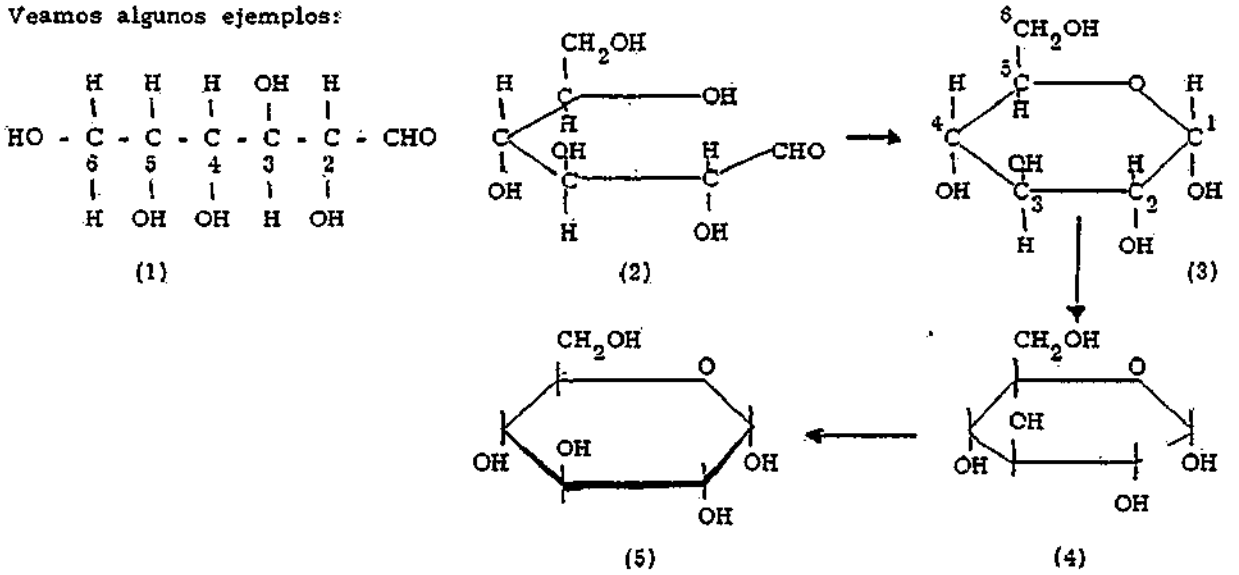
Los azucares pueden representarse de diferentes maneras:

1) La formulación en cadena abierta. Consigue por un lado una visión clara de los carbonos asimétricos (carbonos asimètricos son aquellos que tienen un átomo o grupo de átomos diferentes unidos a èl por cada uno de sus cuatro enlaces de valencia) y por otro que los esteroisómeros, que resultan de la existencia de carbonos asimétricos, se hacen más patentes cuando se representan en forma lineal.

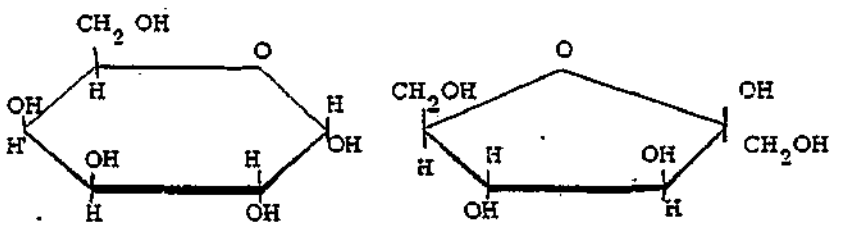
2) La formúlación en anillo cerrado. Esta estructura resume más exactamente las propiedades de los azúcares y a ella responden el 90% de los azúcares celulares. Su existencia se debe al hecho de que los azúcares no se comportan como aldehidos, como hacía suponer su fórmula lineal, sino más bien como hemiacetales y ello es debido a que el grupo aldehído en el carbono 1 y el grupo hídroxilo en el carbono 5 se aproximan y reaccionan entren sí para conseguir la forma hemiacetal cíclica del azucar.

Dos tipos de anillos son posibles cuando tiene lugar la formación de un hemiacetal intramolecular en una hexosa: un anillo de cinco miembros con un átomo de oxígeno o un anillo de seis miembros con un átomo de oxígeno. El anillo de cinco miembros (forma furanosa) es más generalizado en las pentosas y el de seis (forma piranosa) en las hexosas. La mayoría de las hexosas naturales están en forma piranosa, sin embargo, la fructosa difiere de las otras hexosas, presentándose en forma furanosa característica de las pentosas.

Veamos algunos ejemplos:



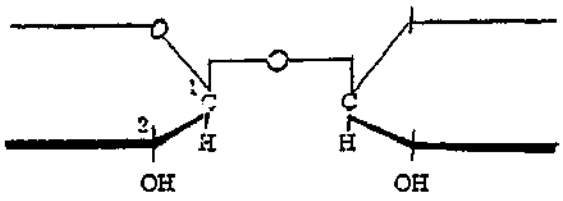
Estructuras representativas de la D-glucosa: (1) forma lineal en cadena hebierta; (2) forma intermedia en la formación de anillo; (3) forma de anillo en la que se muestran todos los carbonos; (4) forma de anillo abreviada (5) forma de anillo abreviada en perspectiva.



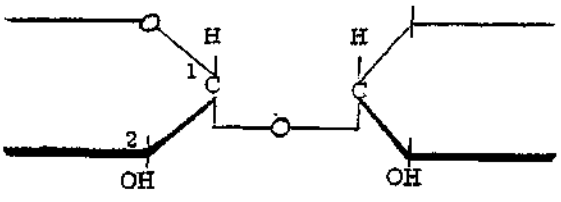
D- galactosa
(forma piranosa)

D- fructosa
(forma furanosa)

Los oligosacáridos se componen de unidades de monosacáridos y contienen, por cada molécula, de dos a diez residuos de monosacáridos unidos entre sí, por un átomo de oxígeno: un enlace glicosídico. Este enlace tiene lugar entre un grupo hidroxilo (-OH) de una unidad y el carbono 1 o carbono carbonílico (-C-H^{O} en la forma lineal) de otro azucar. Dependiendo de la configuración estérica del carbono 1 el enlace glicosídico es designado como α o β .



enlace β -glicósido



enlace α -glicósido

Los oligosacáridos más extendidos son los disacáridos: la sacarosa, que se obtiene comercialmente de la caña de azúcar o de la remolacha y que es un compuesto de glucosa más fructosa; la lactosa, formado por glucosa y galactosa y que se encuentra en la leche de los mamíferos en una proporción del 5%.

Los polisacáridos son polímeros de monosacáridos unidos por enlaces glicosídicos, y se distinguen de los oligosacáridos por tener cadenas más largas con ramificaciones frecuentes.

La característica general del polisacárido, es el monosacárido que se repite. La D. glucosa es la más frecuente, aunque también D. fructosa, D. galactosa y otras hexosas se encuentran como unidades básicas de los polisacáridos.

Las caracterísitas de un polisacárido vienen determinadas por: 1) su composición en monosacáridos, 2) su peso molecular, 3) el grado y naturaleza de la ramificación de las cadenas, 4) naturaleza del enlace glicosídico y 5) configuración estérica en los átomos de carbono asimétricos.

Los polisacáridos más conocidos son las celulosas, almidones y glucógenos.

La celulosa es un polímero de la glucosa, por digestión parcial dá lugar a un disacárido conocido como celobiosa formado por dos unidades de glucosa unidas por enlace β-glicosídico. Es un elemento estructural de la mayoría de las plantas.

El almidón es un polisacárido vegetal que sirve como almacen de energía. Está formado por unidades de glucosa unidas por enlace α-glicosídico, la unidad de disacárido que se repite en el almidón es la maltosa. En la naturaleza existen dos formas de almidón, una es una cadena larga y sin ramificar y la otra es de cadena ramificada, con ramificaciones (del carbono 1 de una glucosa al 6 de otra) cada 20 o 30 resíduos de glucosa.

El glucógeno es un polisacárido que sirve de almacen de energía en los animales, está formado por resíduos de glucosil unidos por enlaces α , siendo una macromolécula mucho mayor que la de almidón y de estructura altamente ramificada. La cantidad de glucógeno presente en los animales, -

varca según los diferentes tejidos, así como con la dieta y el estado fisiológico.

Los hidratos de carbono son la base de importantes elementos estructurales tanto en plantas como en animales, suministrando además aproximadamente, la mitad de las necesidades energéticas del ser vivo. Aparte de los ya mencionados, otros hidratos de carbono de interés son: inulina, pectina, ácido hialurónico, mucopolisacáridos etc..

2.1.2 Lípidos

Las grasas y sus derivados se conocen en conjunto como lípidos. Es un grupo heterogéneo de sustancias que nunca han sido definidas con éxito bajo una descripción simple y total.

El término lípido ha sido utilizado para designar aquellas sustancias que son insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos tales como acetona, alcohol, eter, cloroformo y benceno.

Existen varios tipos de lípidos: lípidos verdaderos o saponificables que pueden ser a su vez simples (ésteres de los acidos grasos con los alcoholes), o compuestos (ésteres que contienen otros grupos además del alcohol y el ácido graso) y lípidos no saponificables tales como los esteroides y carotenoides.

Los lípidos simples incluyen las grasas o triglicéridos y las ceras. Las grasas son ésteres del glicerol y de los ácidos grasos, es un grupo de sustancias muy abundante en la naturaleza, en los animales se distribuye extensamente a lo largo del cuerpo, en las plantas se encuentran en abundancia en las semillas.

La fórmula general de los grasos tipo triglicerido:

$$R - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - CH_2$$
$$R' - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - CH$$
$$R'' - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - CH_2$$

en la cual $R - \overset{O}{\overset{\|}{C}}$, $R' - \overset{O}{\overset{\|}{C}}$ y $R'' - \overset{O}{\overset{\|}{C}}$ representan tres residuos de ácidos grasos que pueden ser iguales o distintos entre sí y que están unidos a un alcohol, la glicerina, por medio de un enlace tipo éster $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-C<$. La nomenclatura de las grasas neutras se basa en los nombre de los ácidos grasos que las constituyen. Si R, R', y R'' fueran residuos del ácido esterico la grasa se denominaría triestearina.

Por hidrólisis, las grasas proporcionan tres moléculas de ácido graso y una de glicerina.

Las ceras se diferencian químicamente de las grasas por la presencia de un alcohol de cadena larga en lugar de la glicerina. Ocasionalmente funcionan como reserva de energía en plantas y animales, aunque mas frecuentemente su función consiste en ser una cubierta protectora en la superficie del organismo vegetal o animal.

Los lípidos compuestos contienen otros elementos adicionales tales como azufre, nitrógeno o fósforo, además del carbono, hidrógeno y oxígeno. En este grupo se incluyen los fosfolípidos que son similares a los triglicéridos excepto en que uno de los tres ácidos grasos se encuentra sustituído por un grupo que contiene fosfato. Son derivados del α-fosfoglicerato por esterificación de los grupos de alcohol restantes del glicerol con ácidos grasos.

Cuando el grupo fosfato está unido a la colina (alcohol que contiene nitrógeno) dá lugar al fosfolí-

pido llamado lecitina que es constituyente mayoritario de las membranas celulares. Hay sustancias muy similares a la colina como la etanolamina y la serina, que se encuentran muy a menudo ligadas de la misma forma que la colina al grupo fosfato dando lugar a fosfolípidos de las membranas de propiedades muy parecidas a las lecitinas. Estos fosfolípidos últimos son tan similares en su - propiedades que durante mucho tiempo se han considerado j ntos bajo el nombre de cefalinas.

Los esteroides son derivados de un sistema formado por cuatro anillos carbonados unidos entre sí. Son componentes estructurales de las membranas celulares, de las hormonas y como ácidos biliares toman parte en la digestión de alimentos. Es evidente que este grupo de sustancias no tiene ninguna relación estructural con las sustancias lipídicas hasta ahora mencionadas y se clasifican como lípidos porque se comportan de forma parecida a ellos con los disolventes orgánicos. Algunos esteroides comunes son: el colesterol (componente estructural de membranas celulares), el ergosterol (provitamina D, precursor de la vitamina D), el ácido cólico (activador de lipasa, absorción de las grasas y digestión), la aldesterona (hormona de la corteza suprarrenal, regula el balance acuoso y salino), la testosterona (hormona testicular), la progesterona (hormona del cuerpo lúteo) el - estradiol (hormona folicular).

Las carotenoides se encuentran ampliamente distribuídos tanto en animales como en plantas, presentan colores que varían del amarillo al púrpura. El caroteno, primer carotenoide descrito, fué aislado a partir del tejido de la zanahoria. Los carotenoides naturales son derivados del licopeno, -- pigmento rojo que se encuentra en los tomates y en otras plantas. El licopeno es un compuesto altamente insaturado, formado por una cadena lineal hidrocarboneda compuesta por dos unidades idénticas unidas por un doble enlace. Es probable que cada mitad de su molécula derive de cuatro unidades de isopreno, así pues las carotenoides están compuestas por ocho residuos de isopreno.

El carotenoide que se encuentra con mayor abundancia en los tejidos de las plantas, es un pigmento amarillo anaranjado, el β-caroteno que suele ir acompañado de cantidades variables de α-caroteno.

Los carotenoides hidrogenados (es decir, formados exclusivamente por carbono e hidrógeno) se -- llaman carotenos y los que contienen oxígeno reciben el nombre de xantofilas. Estas últimas son más abundantes en la naturaleza que los carotenos.

La mayor parte de los estudios sobre el papel fisiológico de los carotenos, se han centrado alrededor de sus relaciones con la vitamina A y la nutrición animal. No obstante, en los últimos años se ha prestado mayor atención al papel de los carotenoides en las plantas, estableciendose dos papeles distintos desempeñados por éstos en la fotosíntesis: a) protegen contra la fotooxidación de la clorofila y b) absorben y transfieren energía lumínica a la clorofila a.

2.1.3.- Proteinas.-

Son polímeros de moléculas más simples llamadas aminoácidos. La estructura general de un aminoácido es:

$$H_2N - \underset{H}{\overset{R}{C}} - COOH$$

en donde podemos distinguir un grupo amina, $-NH_2$, un grupo carboxilo, -COOH, y un radical R,

compuesto por varios átomos y que varía mucho de unos aminoácidos a otros. Por ejemplo, si el radical R es un sólo átomo de hidrógeno, tenemos el aminoácido glicina que es el más sencillo - de todos ellos, si el radical es $HS-CH_2-$ el aminoácido es la cisteina, etc. Algunos aminoácidos tienen radicales más complejos que los indicados con cadenas de carbono lineales y ramificadas a la vez o con anillos. Se conocen alrededor de unos 70 aminoácidos diferentes pero sólo veinte son encontrados universalmente en las proteínas.

El enlace químico que une a los aminoácidos entre sí para formar una molécula de proteína, se - denomina enlace peptídico, el grupo amina de uno de los aminoácidos enlaza con el grupo carboxi lo del otro, perdiéndose una molécula de agua. Si sólo se unen dos aminoácidos el producto se denomina dipéptido. Cuando son muchos los aminoácidos enlazados se obtiene un polipéptido. Estas cadenas peptídicas son las bases estructurales de las proteínas.

Los polipéptidos pueden variar químicamente de forma ilimitada, ya que pueden contener cualquier aminoácido natural de los veinte existentes, además pueden contener cualquier cantidad de cada — uno de ellos y por último el orden específico en que se unen los distintos aminoácidos puede va- - riar sin límite alguno.

La cadena polipeptídica forma la llamada estructura primária de la proteína. En casi todas las - proteínas se dá además una estructura secundaria producida por una torsión de la cadena de ami noácidos, de modo que los radicales de cada aminoácido describen una hélice cilíndrica. En ocasiones dicha hélice es sinistrógira, es decir, que gira hacia la izquierda al ascender (hélice β) ó bien es dextrógira cuando gira a la derecha (hélice α). La estructura secundaria, se mantiene - por los llamados puentes de hidrógeno.

Hay proteínas (fibrosas) que no adquieren nuevas configuraciones, de modo que sus moléculas son largas y rectilíneas. Pero en muchos otros casos, los hilos de proteína pueden curvarse, torcerse y enlazarse consigo mismos formando una variedad infinita de estructuras, que dan a la molecula formas globulares. Esta configuración es lo que se denomina estructura terciaria de una proteína y se mantiene gracias a la existencia de tres tipos diferentes de enlaces.

Ciertas proteínas constan de más de una cadena de aminoácidos, cada una con su estructura terciaria, estas proteínas se dice que poseen una estructura cuaternaria. Los diferentes ovillos de - polipéptidos se unen entre sí, por medio de diferentes enlaces. La insulina y la hemoglobina son proteínas con estructura cuaternaria.

Los puentes de hidrógeno, iónicos o de azufre, que mantienen la configuración terciaria o cuaternaria de las proteínas, son mucho más débiles que los enlaces peptídicos y pueden romperse fácilmente a causa de cambios ambientales (calor excesivo, presión, electricidad, gran acidez, etc.) produciendose la desnaturalización de las proteínas. A veces si la acción ambiental es breve o - no muy intensa, la desnaturalización es temporal y la proteína volverá a su estado nativo. Si la - acción desnaturalizante es intensa y persistente, la desnaturalización es irreversible y la proteína queda coagulada.

Las proteinas son diferentes para cada especie y a menudo lo son para distintos individuos de la - misma especie. El grado de diferencia entre las proteínas de dos organismos puede indicarnos las afinidades evolutivas entre los grupos taxonómicos a los que pertenecen dichos organismos.

Las proteinas son materiales estructurales en los animales, mientras que en los vegetales estos - materiales estan formados fundamentalmente por polisacáridos. Las proteínas más adecuadas para proporcionar una especie de armazón o esqueleto al que se unan las restantes proteínas y sustancias son las proteínas fibrosas. Ejemplos de proteínas estructurales son: la miosina(músculo), la - queratina (piel y pelo) y el colágeno (fibras de huesos, cartílagos, tendones y tejido conjuntivo).

Otra función de importancia de las proteínas es la de servir de transportadores de otras moléculas más pequeñas. Ejemplo la hemoglobina.

Quizás la misión más relevante de las proteínas es la de funcionar como enzimas, catalizando las reacciones vitales.

Los anticuerpos son proteínas que defienden al organismo contra agentes externos. Muchas hormonas son derivadas de aminoácidos, péptidos o moléculas proteínicas o bien tienen proteínas asociadas en su estado funcional.

1.2. LOS ACIDOS NUCLEIDOS. -

Existen dos tipos de ácidos nucleicos: el DNA (ácido desoxirribonucleico) y el RNA (ácido ribonucleico). El estudio de su estructura, propiedades y función, forma el cuerpo de la moderna Biología - Molecular.

En los organismo celulares (es decir, excluyendo los virus) el flujo de información puede expresarse así:

$$\text{DNA} \longrightarrow \text{RNA} \longrightarrow \text{Proteína}$$

Esta es una expresión fundamental en Biología Molecular. Su significado se amplía en la Figura 1.

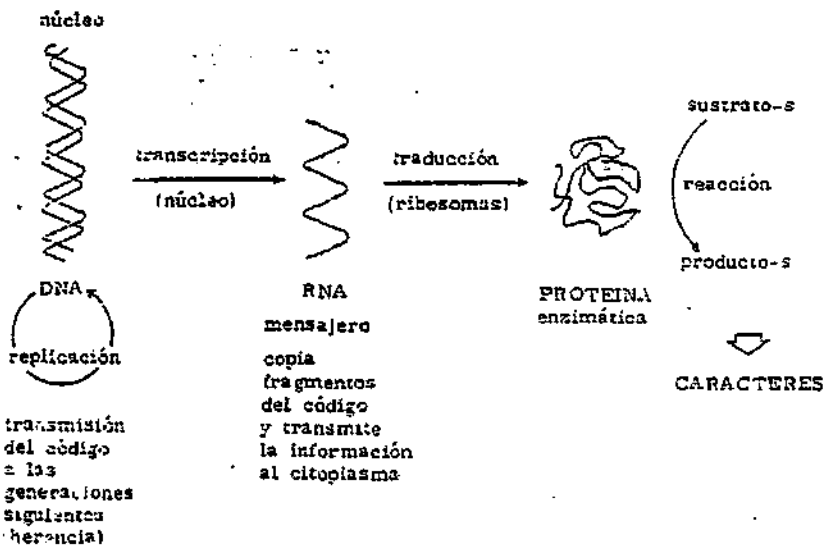


FIGURA 2.1.2. - Esquema del flujo de información a través de los ácidos nucleicos para construir las proteínas.

Estructura

Los ácidos nucleicos son polinucleótidos, esto es, macromoléculas formadas por la repetición de -- otras unidades más simples llamadas nucleótidos.

Cada nucleótido consta a su vez de tres elementos:

a) ácido fosfórico.
b) un azúcar con cinco átomos de carbono (pentosa) en forma ciclo.- Este azúcar es la ribosa en el RNA y la desoxirribosa en el DNA.
c) una base orgánica nitrogenada. Estas bases tienen naturaleza heterocíclica y pueden considerarse derivadas de la purina o de la pirimidina, habiendo dos de cada clase. Hay por tanto cuatro bases. En el DNA serían:

	ADENINA	TIMINA
bases purínicas		bases pirimidínicas
	GUANINA	CITOSINA

En el RNA, el uracilo sustituye a la timina dentro de las pirimidínicas. La diferencia es ligera, - pues la timina no es más que el metil-uracilo.

fosfato
pentosa adenina
fosfato
pentosa citosina
fosfato
pentosa citosina
fosfato
pentosa guanina
fosfato
pentosa adenina
fosfato
pentosa timina
fosfato
pentosa adenina
fosfato
pentosa citosina
fosfato
pentosa guanina
fosfato

Para un ácido nucleico determinado (DNA ó RNA) el azúcar y el -- fosfórico vendrá fijados; habrá pues en principio cuatro nucleótidos, tantos como bases. Cuatro desoxirribonucleótidos en el caso del -- DNA y cuatro ribonucleótidos en el caso del RNA.

En cada nucleótido, el fosfórico esterifica el carbono 5 de la pentosa y ésta se une a la base por su carbono 1.

A la izquierda se representa esquemáticamente cómo los distintos - nucleótidos se enlazan entre sí para formar una hebra de ácido nucleico.

La continuidad de la hebra se establece a través de la sucesión de enlaces pentosa-fosfato que interesan los carbonos 3 y 5 de la pentosa. A través de este enlace "di-éster" cada fosfato consume dos de sus grupos ácidos. El tercero quedará libre y será causa de la reacción ácida del conjunto de la macromolécula.

Las bases van quedando en posición lateral.

La sucesión o secuencia de los nucleótidos, no ocurre al azar, como pudiera a primera vista parecer. Precisamente en esta larga - sucesión viene contenida la clave o código genético del organismo de que se trate. Las hebras pueden ser enormemente largas, con muchos miles o millones de nucleótidos. Su longitud depende en parte de lo evolucionado que sea el organismo, pues a mayor complejidad es necesario un mayor soporte material para contener la información genética necesaria.

Aunque existen excepciones para ambas reglas, puede decirse en principio que el RNA consiste en una sola hebra (simple o monofilar) a veces enrollada en hélice o plegada sobre sí misma, mientras que el DNA consiste en dos hebras unidas (duplez o difilar) y enrolladas en hélice.

La molécula duplex de DNA se forma por el apareamiento de bases complementarias que quedan unidas por enlaces de hidrógeno. Estos enlaces se establecen entre los grupos $=CO$ y $-NH_2$ que ocupan la posición 6. Fijándonos en las estructuras químicas y teniendo en cuenta que para llenar con exactitud el espacio entre las dos hebras deben aparearse una purina con una pirimidina, las únicas combinaciones posibles serán:

A - T G - C
T - A C - C

Las dos hebras de un duplez no son iguales sino complementarias. Cada una contiene toda la información genética necesaria pero en forma distinta, algo parecido a lo que ocurre con el positivo y el negativo de una misma fotografía. Dada una cualquiera de las dos hebras, la otra vendría completamente determinada y no añadiría información nueva alguna, razonamiento que puede darse también a la recíproca.

Los detalles estructurales de la doble hélice del DNA fueron definidos por Watson y Crick a través de su modelo elaborado hacia 1952. Cada vuelta contiene diez parejas de nucleótidos y ocupa por tanto una longitud de 3,4 nm. El diámetro del cilindro ideal que contendría la hélice es de 2nm. Las parejas de nucleóticos son más cortas que esa distancia y no ocupan diámetros sino cuerdas, por lo que la hélice en conjunto presenta dos ranuras desiguales alrededor. Otro detalle estructural no exento de importancia es que las dos hebras que se asocian tienen direcciones opuestas (definibles por la situación relativa del carbono 5 de las pentosas). De ellas se dice que son antiparalelas.

Replicación del DNA

Bajo determinadas condiciones, una molécula de DNA puede fabricar copias idénticas de sí misma, fenómeno que se conoce con el nombre de replicación o duplicación del DNA. Dichas condiciones se dan normalmente en la célula viva y han sido reproducidas "in vitro" por Kornberg y otros investigadores. La replicación consiste en la adición enzimática de nucleótidos sueltos del ambiente nuclear y que han sido previamente sintetizados por el metabolismo de la célula. En el proceso van implícitas en su forma más elemental las dos funciones más características de los seres vivientes, la nutrición y la reproducción.

Las dos hebras se empiezan a separar por uno de los extremos, y casi inmediatamente cada una adiciona los nucleótidos complementarios necesarios para reconstruir el duplex (ver figura 2.1.2.) La síntesis progresa así desde un extremo hasta el otro. De no haber error, los dos duplex que resultan serán idénticos. De este modo se asegura, en principio, la continuidad de la informació genética para las sucesivas generaciones celulares.

Se tiene aún un conocimiento incompleto de las enzimas que intervienen en la replicación y de la forma en que actúan. Kornbeg y sus colaboradores (1956) consiguieron síntesis de DNA nuevo a partir de otro preexistente en forma de hebra sencilla, con la intervención de una enzima, la DNA -polimerasa, y la adición de nucleótidos tri-fosfato (esto es nucleótidos activados) en presencia de

una concentración adecuada de iones Mg^{++}. El DNA preexistente sirve de soporte y de patrón (aportando la información necesaria) para poner en orden los nucleótidos libres y formar nuevas hebras del polímero. Años más tarde se consiguió duplicar completo el DNA del virus Φ-X-174 (monofilar) pero para ello hizo falta una nueva enzima (DNA-ligasa). La dificultad en comprender cómo puede replicarse enzimáticamente el DNA duplex radica en la distinta dirección que tiene las dos hebras. Parece que es necesario el concurso de por lo menos tres enzimas, y que la duplicación se realiza por tramos cortos.

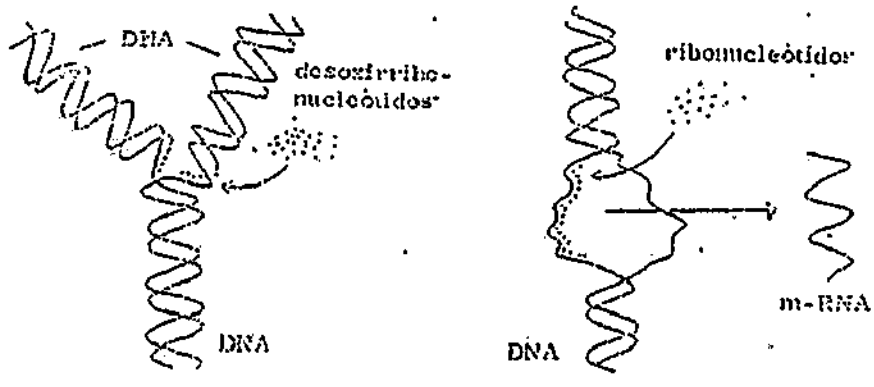


Figura 2.1.2. - Esquema de la replicación del DNA y de la transcripción.

Transcripción

El RNA se sintetiza normalmente sobre patrón de DNA y por un procedimiento análogo al descrito, con la intervención de otra enzima llamada RNA-polimerasa. Naturalmente, en este caso se añaden ribo-nucleótidos, y no desoxirribo-nucleótidos como en el anterior. El resultado consiste en un conjunto de hebras monofilares de RNA cada una de las cuales copia la información de un segmento relativamente corto del DNA. Por actuar como portador hacia el citoplasma de la información genética copiada del núcleo, a este RNA se le denomina RNA mensajero o m-RNA.

Al segmento de DNA que codifica la información necesaria para construir una enzima completa, se denomina cistrón, siendo ésta una de las acepciones que cabe dar a la palabra gen. Las moléculas de m-RNA es frecuente que sean más largas y transcriban varios cistrones a la vez.

Existen otros tipos de RNA además del mensajero:

El RNA ribosómico (r-RNA) unido a proteínas, forma el cuerpo de los ribosomas, orgánulos celulares donde se localiza la síntesis de proteínas. El RNA ribosómico es de constitución idéntica al RNA nucleolar (n-RNA), siendo casi cierto que el nucleolo no es más que el lugar donde se almacenan las partículas sub-ribosómicas recién fabricadas en tanto llega el momento de verterlas al citoplasma -

durante la prometafase mitótica.

El RNA transferente (t-RNA) consiste en una colección de moléculas pequeñas cuya función radica en unirse a los aminoácidos y hacer posible su acoplamiento ordenado en el ribosoma para la construcción de las cadenas polipeptídicas.

La mayor parte de la longitud total del DNA se emplea en codificar la información necesaria para construir, vía m-RNA, las numerosas proteínas enzimáticas que intervienen en el metabolismo celular. Sólo una pequeña parte se necesita para codificar el r-RNA (zona nucleolar) y el t-RNA.

Traducción

Aunque los detalles de la síntesis de proteínas en el ribosoma son complicados, lo más esencial se resume en el esquema de la figura 2.1.3..

Cada aminoácido se activa primero con ATP (adenosina-tri-fosfato) y se asocia a continuación con el t-RNA que le es específico. Cada aminoácido no sería por sí solo capaz de reconocer su correspondiente t-RNA pero existen enzimas específicas que reconocen a ambos y los hacen reaccionar. Al ribosoma van pues, no los aminoáciso, sino los complejos t-RNA~aa.

El m-RNA a su vez se asocia al ribosoma, pasando entre las dos subunidades que lo constituyen y quedando unido a la menor de ellas.

Cada trío o tripleta de nucleótidos del m-RNA se corresponde con un aminoácido. Cada aminoácido no podría por sí reconocer su tripleta, pero lo hace por el hecho de venir asociado a su t-RNA específico y a través de él.

De este modo, los aminoácidos se van colocando sobre el ribosoma en el orden que marca la sucesión de tripletas del m-RNA, sucesión que en su momento fué copiada del núcleo durante la transcripción. En cada momento el ribosoma sólo puede albergar dos o tres complejos t-RNA~aa, pero al ir deslizando sobre la molécula de m-RNA va admitiendo por un lado nuevos complejos. Por el otro, va saliendo la cadena polipeptídica que resulta de la unión de los sucesivos aminoácidos. Los t-RNA quedan a su vez libres.

El nombre de traducción resulta ser de lo más adecuado, puesto que en el proceso se pasa de un lenguaje de cuatro nucleótidos (m-RNA) a otro de viente aminoácidos (proteínas). Desde que se aclaró la función del RNA mensajero, diversos investigadores en todo el mundo dirigieron sus esfuerzos a tratar de esclarecer las equivalencias existentes entre nucleótidos y aminoácidos. Al entrar en juego veinte aminoácidos, resulta obvio que cada uno no podría corresponderse con un nucleótido (por haber solo cuatro) ni siguiera con pares de ellos (por haber solo dieciséis.). Tripletas en cambio hay suficientes (sesenta y cuatro) y aún sobran, por lo que puede decirse que el diccionario genético existen sinónimos. Hoy día están totalmente aclaradas estas equivalencias. A cada aminoácido puede corresponder más de una tripleta, pero como a una determinada tripleta no puede corresponder más que un aminoácido, no existe peligro de ambigüedades en la fabricación de proteínas.

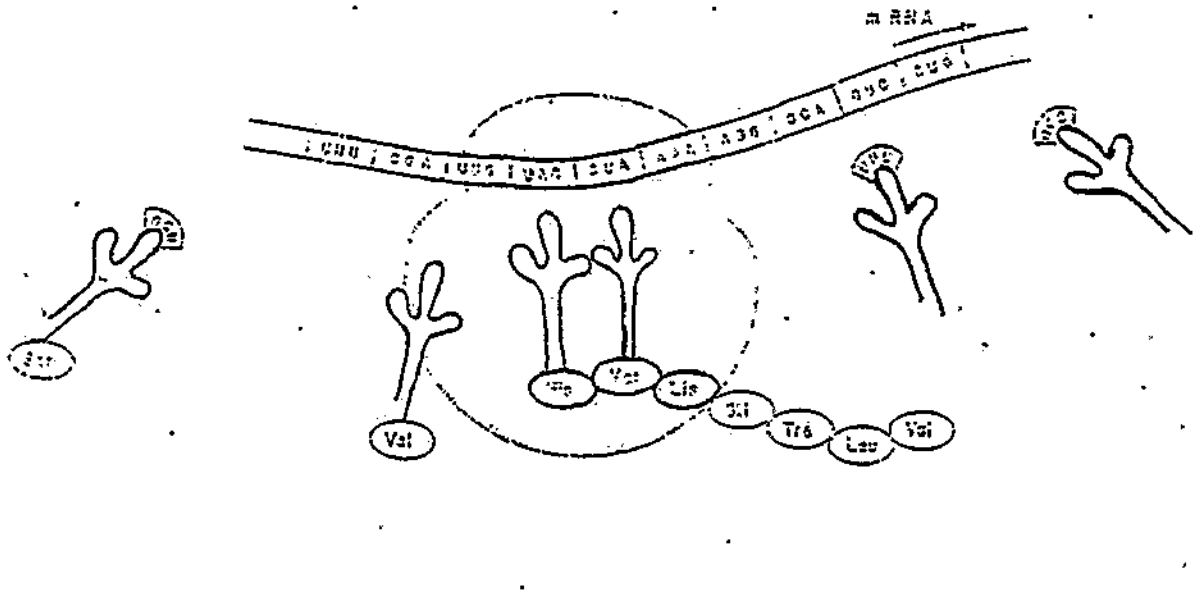


Figura 2.1.3.- Esquema de la síntesis de proteínas en el ribosoma. Cada aminoácido llega al ribosoma unido al correspondiente RNA transferente. Este se coloca frente a la triplета complementaria del RNA mensajero.

Resumen y comentario adicional

La información genética de cada organismo viviente, se encuentra implícita en la secuencia de nucleótidos de su DNA, quien a través de la replicación se encarga de transmitirla a las generaciones celulares siguientes. En cada célula, dicha información se copia y transmite al citoplasma por medio del RNA mensajero, quien sirve en los ribosomas de patrón para el montaje ordenado de los aminoácidos en las cadenas polipeptídicas. Las proteínas enzimáticas catalizan una gran variedad de reacciones metabólicas de las cuales dependen los caracteres que asemejan y/o diferencian a los seres vivos.

Toda transmisión de información, supone la posibilidad de errores. En los tres procesos descritos - (replicación transcripción y traducción) la probabilidad con que ocurren errores es extremadamente - baja. Los cometidos durante la replicación, tienen sin embargo una gran importancia, pues cualquier variación en la secuencia de nucleótidos del DNA (mutación) será transmisible y puede perpetuarse en las generaciones siguientes. Las mutaciones son fuentes de genes nuevos, sobre los que actuará la - selección natural dentro del proceso más general que conocemos por evolución.

2.1.- NUTRICION Y METABOLISMO CELULARES

Por metabolismo se entiende el conjunto de cambios químicos y energéticos que tienen lugar en el interior de las células o entre éstas y el medio en que se desarrollan. Pueden distinguirse dos tipos. Por un lado, el anabolismo o metabolismo constructivo, es el conjunto de reacciones donde se sintetizan compuesto más complicados a partir de otros más sencillos. Una mayoría de estos cambios son endergónicos, es decir, acumulan energía en los enlaces de las moléculas que se forman. Por otro lado, el catabolismo o metabolismo destructivo, es el conjunto de reaciones donce las moléculas más complejas se descomponen en otras más simples. Van generalmente acompañados de emisión de energía. Los cambios energéticos son bastante más importantes cuando las reacciones son de tipo red-ox (oxidación-reducción) que cuando corresponden al equilibrio ácido-base.

En la figura 2.2.1. se hace un resumen de los principales pasos metabólicos con el fín de que sirva de referencia para el texto que sigue. Existen desde luego cartas mucho más detalladas sobre esto, incluyendo a veces varios centenares de reacciones.

La nutrición, una de las funciones fundamentales de los seres vivos, podría definirse como la parte del metabolismo que se refiere de un modo más directo a los intercambios de la célula con el exterior. De un modo análogo, la respiración sería la parte más directamente relacionada con la producción de energía metabólica. Los cambios nutricionales y respiratorios podrían verse como dos sub-conjuntos con intersección, incluídos ambos en el conjunto de cambios metabólicos.

La célula debe procurarse por un lado los átomos y moléculas que necesita para construir su propia materia, y por otro, la energía que precisa para el desarrollo de sus funciones vitales. Ambos problemas están bastante ligados entre sí. Al enfocarlos desde el punto de vista de la energía, se puede alcanzar un grado de comprensión más profundo, y al mismo tiempo la cuestión se simplifica por reducirse al estudio de sólo cuatro tipos fundamentales de nutrición (o respiración) celular. En los procariotas se encuentran ejemplos de todos ellos. Los eucariotas en cambio han proseguido su evolución aprovechando solamente los dos más eficaces.

Entre los dos polos de una batería, circula un flujo de electrones: intercalando el dispositivo adecuado, puede obtenerse energía en forma mecánica, calorífica, luminosa, etc. Algo similar ocurre dentro de la célula, donde hay sustancias con tendencia a dar o ceder electrones (sustancias reductoras) y otras con tendencia a aceptarlos (sustancias oxidantes). Del paso o caída de electrones entre las primeras y las segundas, puede obtenerse energía utilizable para el metabolismo celular.

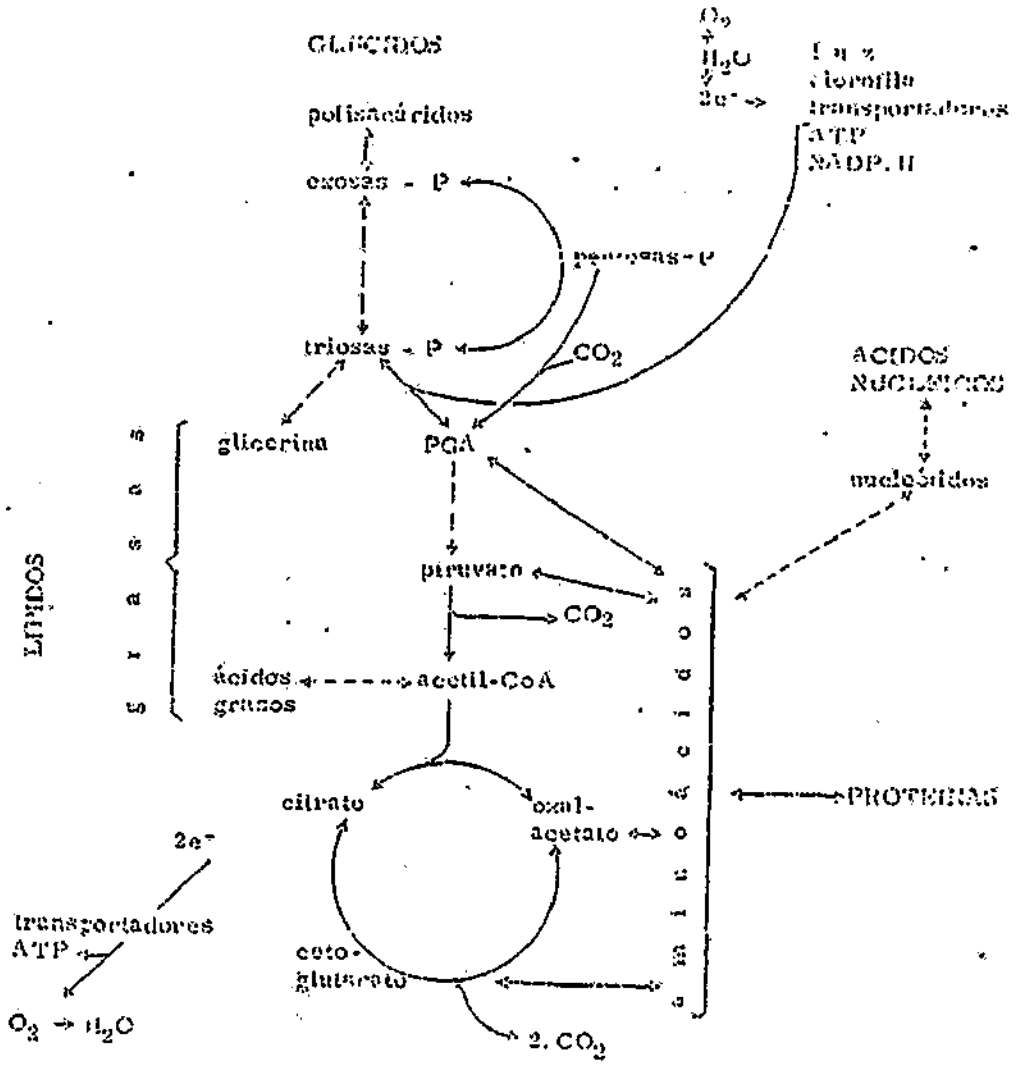


Figura 2.2.1 - Esquema resumen de los principales pasos que constituyen el metabolismo celular. En las células eucarióticas, la fotosíntesis ocurre en los cloroplastos, el ciclo de Krebs y la degradación de las grasas en las mitocondrias, la síntesis de proteínas en los ribosomas, la glicolisis, síntesis de grasas, etc. en el citoplasma, y la de ácidos nucleicos en el núcleo.

Reducir es dar o ceder electrones, oxidar es aceptarlos o extraerlos. El oxígeno es, por ejemplo, un oxidante enérgico por la tendencia de sus átomos a adquirir los electrones necesarios para completar su nivel L. A muchos metales les ocurre lo contrario, y de ahí se comportan como reductores.

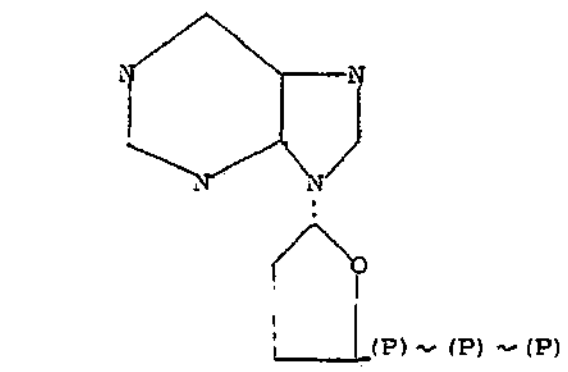
Realizada la transferencia, el dador queda oxidado y el aceptor reducido. Oxidar una sustancia equivale pues a utilizarla como dador.

Los electrones que se transfieren entre un dador y un aceptor, pueden ir solos o acompanados de protones (hidrogeniones) entidades estas que abundan en las soluciones acuosas. Por eso resulta casi equivalente en la práctica hablar de transferencia de electrones o de transferencia de hidrógeno.

Todas las sustancias podrían ordenarse sobre una escala de más a menos poder reductor, donde las más oxidantes ocuparían la parte más inferior. Cuanto más alejados queden el dador y el aceptor, más energía podría teóricamente obtenerse de la transferencia.

En la realidad existen sin embargo dificultades para aprovechar bien la energía de saltos demasiado bruscos. Por ello es muy frecuente que la célula utilice series de sustancias de potenciales reductores decrecientes que van sucesivamente transfiriéndose los electrones hasta un aceptor final. A tales sustancias se les denomina genéricamente transportadores de electrones.

Debe por último advertirse que por antiguo convenio en Química, los potenciales red-ox se miden en voltios, sobre una escala cuyo 0 correspondería al sistema H^+/H y donde los valores positivos se asignan no a los potenciales reductores sino a los oxidantes.



ADP

ATP

Una parte de la energía puesta en juego en el salto electrónico se acumula normalmente en el enlace del tercer fosfato de una molécula de ATP (adenosin-trifosfato) mientras el resto se pierde en forma de calor. El ATP se forma así a partir de ADP (adenosin -di-fosfato) por incorporación de fosfato inorgánico y energía. Viceversa, el ATP puede ceder su energía, (transformándose en ADP + fosfato) a aquellas reacciones que la necesiten. El sistema ADP-ATP actúa pues como intermediario entre los procesos exergónicos (que producen energía) y los procesos endergónicos (que la consumen) dentro del metabolismo celular.

Tabla I . Formas de nutrición en la Naturaleza.

según la fuente primaria de energía	según la fuente primaria de poder, reductor: sustancias orgánicas: Heterótrofos	según la fuente primaria de poder, reductor: Sustancias inorgánicas: Autótrofos
oxid. sust. químicas: Quimiotrofos	Quimio-heterótrofos bacterias saprobias, simbiones o parásitas. hongos mixomicetos protozoos metazoos	Quimio-autótrofos bacterias nitrificantes, férricas, etc. bacterias sulfurosas - incoloras
l u z: Fototrofos	Foto-heterótrofos bacterias purpúreas no sulfurosas	Foto-autótrofos bacterias sulfurosas, purpúreas o verdes cianofíceas azules -- algas cormofitas

2.1.1.- Las formas de nutrición

Los seres quimiotrofos obtienen su energía (ATP) exclusivamente a partir de la oxidación de com-- puestos químicos. Los fototrofos pueden además fijar la energía luminosa del sol.

Los seres heterótrofos utilizan exclusivamente el poder reductor de compuestos orgánicos. Los seres autótrofos pueden además extraer electrones de materiales inorgánicos sencillos como agua, sulfhídrico, amoníaco, etc.

Combinando las anteriores alternativas se llega a los cuatro modos fundamentales de nutrición que se resumen en la Tabla I.

Cualquier organismo tiene, desde luego, la opción de oxidar su propia materia orgánica constituyente (glúcidos, lípidos o prótidos) y obtener de ahí ATP. Se reserva sin embarbo el nombre de quimioheterótrofos a los que utilizan exclusivamente este procedimiento. Es obvio que si todos los organismos hubieran actuado así, se habrían agotado rápidamente las moléculas orgánicas de nuestro planeta. Afortunadamente, la evolución desarrolló otras aptitudes nutricionales capaces de evitar esa si-- tuación.

Si pasamos a tener en cuenta la naturaleza del aceptor de electrones -oxígeno en los seres aerobios, y otra sustancia diferente en los anaerobios llegaríamos a ocho formas teóricas de nutrición de — las cuales probablemente algunas no existen en la práctica. Al hablar de los quimioheterótrofos es - donde se hará un poco más de hincapié en las diferencias que trae la ausencia o presencia de oxígeno.

Los términos autótrofo y heterótrofo se sustituyen en algunos textos recientes por litofrofos (de lithos , piedra) y organotrofo, respectivamente.

Seres quimio-heterótrofos

Utilizan moléculas orgánicas tomadas del exterior como fuente de poder reductor y de energía, amén de como materia prima para la construcción de sus propios principios inmediatos orgánicos.

En los primeros tiempos que siguieron a la aparición de la vida en la Tierra, tales moléculas se habían formado anteriormente de un modo abiogenético, esto es, sin el concurso de seres vivientes. A partir del momento en que aquellas se agotaron, todos los alimentos orgánicos proceden siempre de los demás seres vivos o de sus restos y productos.

Los alimentos son primero sometidos a un proceso de digestión que consiste en la hidrólisis de compuestos macromoleculares para transformalos en otros más sencillos que pueden atravesar las membranas o tegumentos. De este modo y por la acción de las correspondientes enzimas hidrolíticas, se descomponen las cadenas de polisacáridos y proteínas en sus eslabones elementales y algo análogo ocurre con las grasas.

Molécula inicial	Enzimas	Molécula final
Proteínas	Proteasas	Aminoácidos
Polisacáridos	Carbohidrasas	Monosacáridos
Grasas	Lipasas	Glicerina y ácidos grasos

Todas esta reacciones son de tipo ácido-base, por lo que ponen en juego cantidades no demasiado importantes de energía. Ocurren no solamente durante la digestión, sino también dentro de la célula cada vez que esta moviliza sus reservas para ser oxidadas.

Las enzimas hidrolíticas se encuentran normalmente en los lisosomas celulares, y son vertidas al exterior de la célula para que realicen allí su labor digestiva. Así simplemente ocurre en los organismos cuya alimentación es difusiva, como p. ej. los hongos. Otros organismos ingieren los alimentos hasta un compartimento interior -vacuolas digestivas en los unicelulares, aparato digestivo en los pluricelulares - donde se localiza aquella función, pero que topológicamente sigue perteneciendo en realidad al exterior del cuerpo.

Las sustancias que resultan de la digestíon pasan a ser absorbidas a través de la membrana celular, o de los tegumentos en el caso de seres pluricelulares. La absorción es un proceso activo, es decir, en el se consume energía metabólica (ATP) interviniendo además ciertas sustancias auxiliares (portadores) y enzimas especiales (permeasas).

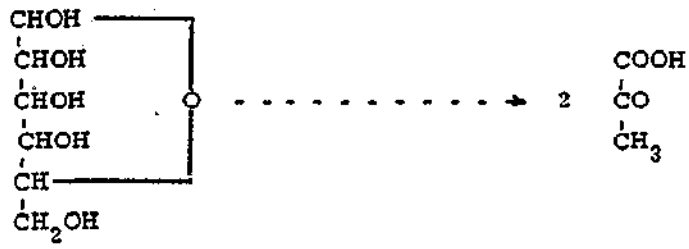
Por asimilación se entiende la incorporación de las moléculas absorbidas a la propia materia. En general implican reacciones de síntesis donde se consumen cantidades variables de energía. Los monosacáridos volverán a formar polisacáridos, los ácidos grasos y la glicerina grasas y los aminoacidos, proteínas. Los nuevos productos no serán en general idénticos a los primitivos. En el caso de las proteínas, por ejemplo, el organismo unirá los aminoacidos absorbidos en la secuencia que determine su propia información genética, y construirá proteínas específicas muy distintas a las

originales.

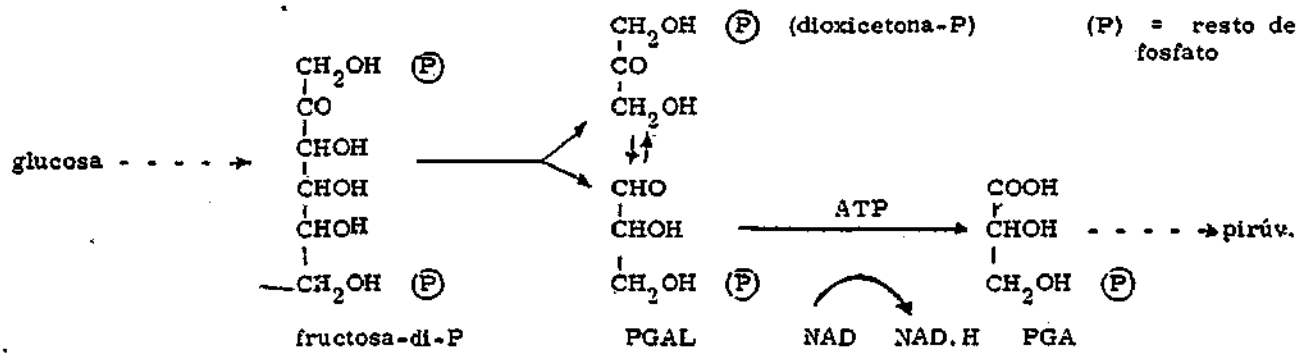
Los cambios metabólicos dirigidos a la producción de energía, se conocen bajo el nombre de respiración.

A los primitivos seres químio-heterótrofos les correspondió vivir en un planeta con poco oxígeno gaseoso-similar a los actuales Marte y Venus-razón por la cual tuvieron que ser necesariamente anaerobios. Para obtener energía desarrollaron evolutivamente una serie de pasos metabólicos (glicolisis) que en su esencia ha sido conservada por todos los demás seres vivos hasta nuestros días.

La glicolisis comprende unas once reacciones principales que convierten una molécula de exosa en dos de ácido pirúvico:



Basta observar la fórmula de ambas sustancias para comprender que en algún momento debe haber una escisión de la molécula exacarbonada para origiar las dos tricarbonadas, y además un paso de tipo oxidativo. En efecto, la glucosa se isomeriza a fructosa y se fosforila dos veces en sus carbonos extremos dando fructosa-di-fosfato. Este compuesto es el que se escinde en dos triosas-fosfato isómeras entre sí: la dioxicetona-fosfato y el aldehído glicérico fosfato o PGAL, las cuales quedan en equilibrio de modo que cuando se consume de una, hay una regeneración a partir de la otra. El PGAL se oxida a continuación a ácido fosfo-glicérico o PGA.



Es precisamente en el paso PGAL ⟶ PGA donde ocurre una transferencia de electrones y la formación de una molécula de ATP. El PGAL actúa como dador (el dador remoto sería la glucosa), y como aceptor una sustancia conocida por NAD (nicotin-adenina-difosfato).

El balance energético neto sería de 2ATP por cada glucosa inicial. Aunque deben invertirse 2ATP en las fosforilaciones previas, también es cierto que se recuperan en las reacciones finales que dan pirúvico a partir del PGA. Sólo dos moléculas de ATP suponen un rendimiento neto muy bajo, pero ello viene condicionado por el factor limitante que supone la carencia de oxígeno.

Para que todo esto funcione, falta encontrar el modo de regenerar el NAD para que pueda seguir

funcionando como aceptor. Ello se consigue rematando la glicolisis con alguna reacción adicional de tipo reductor que acepte los electrones del NAD. H. A las distintas posibles soluciones que adoptan los distintos organismos, o en otras palabras, a las distintas modalidades que ofrece la respiración quimio-heterótrofa anaerobia, llamamos fermentaciones.

En la fermentación alcohólica, por ejemplo, el pirúvico se descarboxila y reduce a etanol. Las levaduras del género Saccharomyces que la realizan, tienen una gran importancia industrial en la fabricación de vino, cerveza y otras bebidas.

En la fermentación láctica, el pirúvico se reduce a láctico. La realizan bacterias como Streptococcus lactis, produciendo coagulación en las proteínas de la leche (yogourt) al bajar el pH por acumulación de láctico.

Vemos pues como esta forma primitiva de respirar ha llegado a nuestros días, por persistir en la Tierra muchos medios donde no llega el oxígeno atmosférico.

El oxígeno de la atmósfera se debe a la actividad de los seres foto-autotrofos a que en seguida nos referiremos. Se calcula que en el Silúrico había aproximadamente un 10%, estabilizándose después en el 19% que existe actualmente, la posibilidad de utilizar el oxígeno como aceptor abrió el paso a formas mucho más eficaces de respirar y permitió la evolución de los animales superiores.

En la respiración aerobia, el oxígeno se hace cargo de los electrones del NAD. H, mas no lo hace directamente sino a través de una serie de transportadores que existen en las membranas internas del citoplasma, y aún con más abundancia en las mitocondrias. De mayor a menor poder reductor, estos transportadores serían:

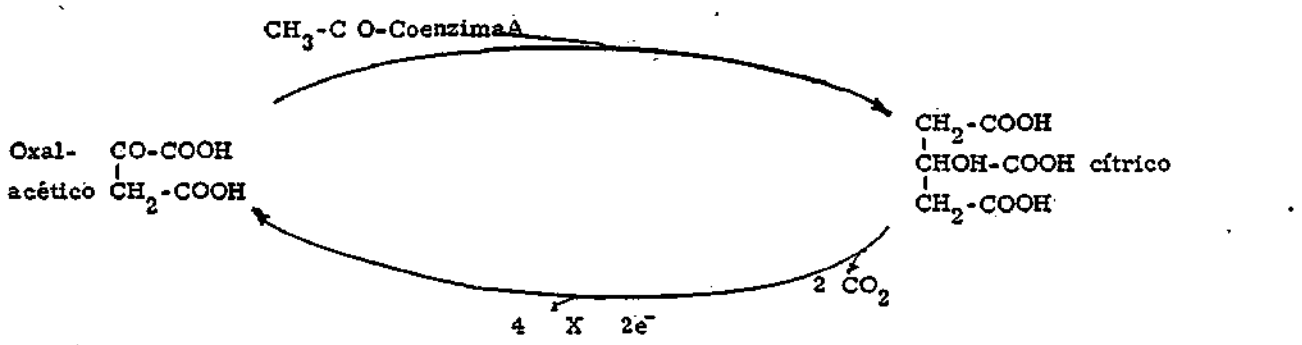
Dador inicial ⟶ NAD ⟶ FAD ⟶ Ubiquinona ⟶ Citocromo b ⟶

Citocromo c ⟶ Citocromo a ⟶ Citocromo a_3 ⟶ 1/2 O_2

En tres momentos de este transporte descendente, se produce ATP (fosforilación oxidativa) a partir de ADP y fosfato.

La glicolisis puede así ya realizarse sin necesidad de completarla con una reacción donde se acumulan sustancias muchas veces tóxicas como etanol o ácido láctico. Los electrones que se extraen en el paso PGAL ⟶ PGA van a la cadena transportadora, y con ello a los 2 ATP iniciales pasan a añadirse seis más, siempre referidos a una molécula de glucosa inicial.

Por otro lado ya no hay factores limitantes para que el pirúvico pueda continuar oxidándose hasta el final. En primer lugar se descarboxila oxidativamente para dar acético activado (acetil-coenzima A). En este paso, se desprende CO_2 y se extraen electrones. La oxidación del acético no se hace directamente. Usando de la energía que le confiere su unión con la coenzima A, el acético (2 carbonos) se une con el ácido oxalacético (4 carbonos) para formar ácido cítrico (6 carbonos):



Del cítrico se regenera oxalacético a través de varias reacciones que incluyen dos descarboxilaciones y cuatro extracciones de electrones. En ellas va implícita la oxidación del ácido acético inicial. A todo este conjunto de reacciones se denomina ciclo de los ácidos tri-carboxílicos o ciclo de Krebs.

En el ciclo de Krebs se producen 4 X 6 = 24 ATP que con los 6 de la descarboxilación oxidativa del pirúvico y los 8 de la glicolisis, suman 38, siempre por cada glucosa inicial. Vemos como la mera presencia de oxígeno ha permitido pasar de 2 a 38 ATP. Teniendo en cuenta que un ATP equivale a 7,3 x 38 / 673 $\approx$ 40% un valor realmente muy alto que no alcanza ninguna de las máquinas térmicas fabricadas por el hombre. Además, la célula debe trabajar a temperaturas casi constantes para que no sufran la actividad ni la estructura de las enzimas. La complejidad misma de todo el proceso contribuye a que todo transcurra muy gradualmente y puedan alcanzarse los anteriores objetivos.

En lo anterior se ha esquematizado el metabolismo degradativo de los hidratos de carbono. Otros principios inmediatos siguen suertes análogas. Los ácidos grasos se catabolizan perdiendo eslabones dicarbonados que entran en el ciclo de Krebs en forma de acetil-coenzima A. La glicerina se oxida a dioxicetona y entra en la glicolisis. Los aminoácidos son primero des-aminados, y los ácidos orgánicos resultantes terminan por enlazar de algún modo con las rutas degradativas de la glicolisis o ciclo de Krebs (ver figura 2.2.1).

Seres foto-heterótrofos

Utilizan la luz como fuente primaria de energía en su metabolismo . Pertenecen a este grupo las bacterias purpúreas no sulfurosas, organismos que son realmente marginales hoy día en la Naturaleza, pero que tienen una gran importancia teórica por representar la forma de fotosíntesis más primitiva.

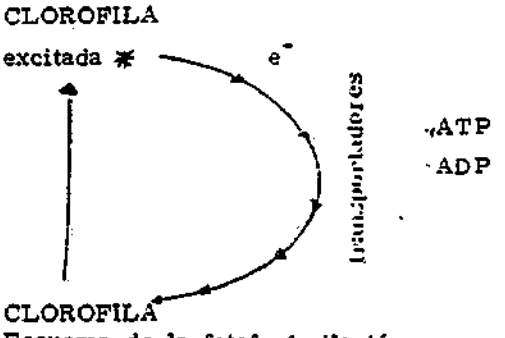


Figura 2.2.2.- Esquema de la fotofosforilación cíclica

De una molécula excitada por un fotón luminoso, podemos decir que ha ganado a la vez energía y poder reductor.
Un electrón así desplazado en una molécula de clorofila, puede ser transferido a una serie de transportadores de electrones que terminan por restituirlo a la clorofila que lo perdió. En algún momento de la caída se produce ATP (foto-fosforilación) Por

tratarse de un circuito cerrado (foto-fosforilación cíclica), el poder reductor queda como tal sin aprobechar y la bacteria debe recurrir a dadores organicos externos.

- Seres foto-autótrofos

En este grupo se incluyen todas las plantas verdes y otras que no muestran ese color por tener otros pigmentos que enmascaran la clorofila, como les ocurre a las algas pardas y rojas. También puede incluírse aquí a muchas bacterias y a las cianofíceas.

Desde el punto de vista ecológico, este grupo forma el grueso de lo que se llaman "productores primarios". La energía solar es canalizada a través del ATP para formar materia orgánica, partiendo de compuestos minerales sencillos. Al proceso se le denomina fotosíntesis.

Aunque los compuestos que pueden originarse por fotosíntesis son muy variados, quizá la parte más fundamental, referida a los hidratos de carbono, puede resumirse en la ecuación:

$$6.CO_2 + 6.H_2O \xrightarrow{\text{luz}} C_6H_{12}O_6 + 6.O_2$$

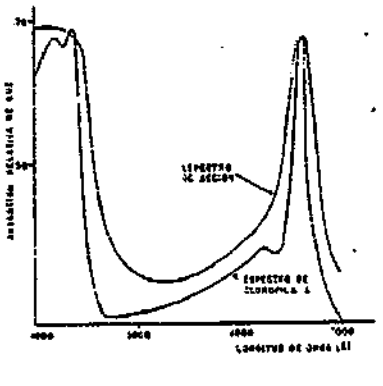
Esta expresión viene a ser la inversa de la que se obtendría al resumir el conjunto glicolisis-ciclo de Krebs en una sola ecuación. Las reacciones intermedias, también muy complicadas en este caso, son en gran parte diferentes para ambos procesos.

Con ayuda del isótopo oxígeno-18 ha podido comprobarse que el oxígeno desprendido en la fotosíntesis procede de la descomposición del agua, y no de la del CO_2 como se había creído antes.

Dentro del conjunto global de reacciones, debe distinguirse un primer grupo que necesita del concurso de la luz (reacciones luminosas) y un segundo donde se emplean los productos del primero pero donde la luz ya no es necesaria (reacciones oscuras).

En las reacciones luminosas, los fotones de luz excitan las moléculas de clorofila, "bombeando" electrones hacia un mayor poder reductor para hacerlos "caer" después a través de series de transportadores. En los seres foto-autótrofos el esquema de transporte electrónico es abierto y no cíclico por lo que se aprovecha tanto el ATP como el poder reductor. El poder reductor se manifiesta en la síntesis de NADP.H (nicotin-adenina-tri,-fosfato en forma reducida). Ambos productos se utilizarán después en las reacciones oscuras.

Figura 2.2.3.- Espectro de acción de la fotosíntesis y espectro de absorción de la clorofila a.



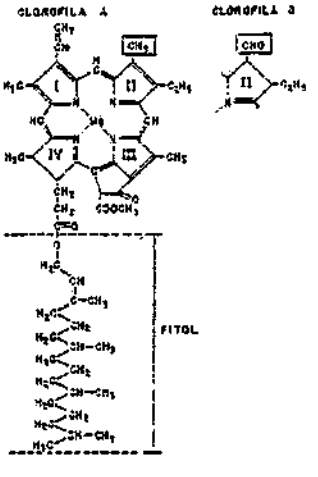


Figura 2.2.4.- Estructura molecular de la clorofila

La molécula encargada de captar la luz solar es la clorofila. Químicamente es un anillo de anillos de pirrol unidos entre sí por grupos de metileno y con un átomo de Mg^{++} en su parte central, formado complejo con los atomos de nitrógeno de los anillos pirrólicos. La molécula tiene además un alcohol de veinte átomos de carbono llamado fitol.

Existen varias clorofilas: clorofilas a, b, c, d, bacterioclorofila, etc. qué sobre la estructura básica descrita difieren entre sí por los radicales unidos a los anillos de pirrol. Existen también otros pigmentos no clorofílicos, principalmente carotenoides y ficobilinas que se asocian a la clorofila y cooperan con ella mejorando su rendimiento en la captación de determinadas longitudes de onda. El conjunto de pigmentos asociados a clorofila que funciona coordinadamente recibe el nombre de fotosistema.

Los fotosistemas forman parte de membranitas individualizadas y especializadas que se llaman tilacoides. Ya en las bacterias, los tilacoides se apilan formando granos. Los cloroplastos contienen muchos granos envueltos por una membrana.

El espectro de absorción de la luz por la clorofila tiene dos máximos que se corresponden con las zonas roja y azul además de un mínimo hacia el verde. Por efecto de los otros pigmentos acompañantes, el espectro de absorción de las células fotosintéticas es ligeramente distinto del de la clorofila pura. Del espectro de emisión de la luz blanca solar se desaprovecha por tanto gran parte de la región central, siendo ésta la causa del color verde de la clorofila, de las hojas y de los paisajes.

El circuito abierto que siguen los electrones en las reacciones luminosas tiene dos partes ascendentes a cargo de dos conjuntos de pigmentos que reciben los nombres de fotosistema I y fotosistema II. Son necesarios por tanto al menos dos fotones para que circulen los electrones desde un extremo al opuesto. Entre ambos fotosistemas hay una parte descendente donde intervienen varios transportadores y donde se produce ATP. Al final del circuito, el NADP capta electrones (y protones) transformándose en NADP.H.

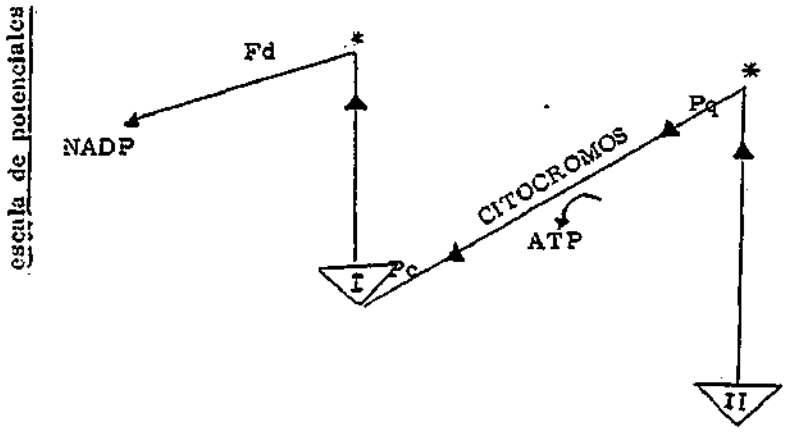


Figura 2.2.5.- Esquema del transporte de electrones en la fotosíntesis Fd=ferredoxina, Pc=plastocianina, Pq=plastoquinona. I y II fotosistemas.

La figura anterior representa el llamado diagrama "en Z" de las reacciones luminosas de la fotosíntesis. Las alturas simbolizan la escala de poder reductor. Los transportadores de electrones que operan en los granos (representados quí por sus abreviaturas) son similares pero no idénticos a los que intervienen en la respiración aerobia en las mitocondrias. Con un asterisco se ha simbo

lizado la forma excitada de la clorofila.

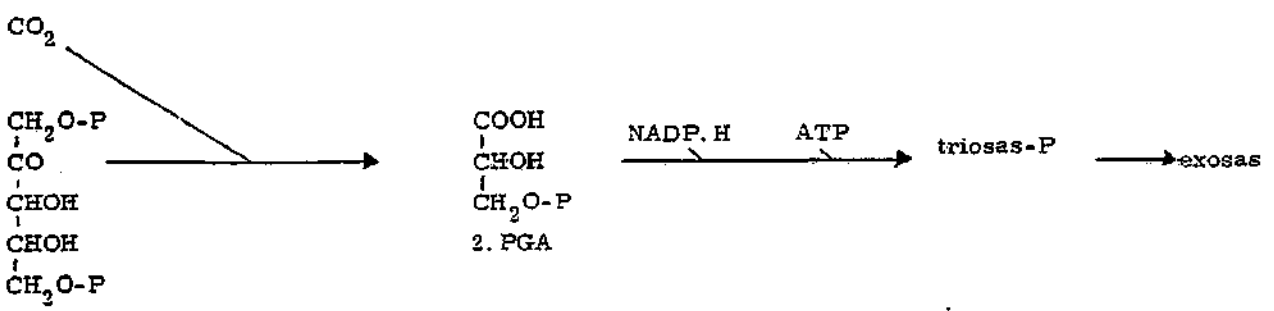
Por consumirse electrones en la formación de NADP.H es obvia la necesidad de una fuente externa que los suministre. Las bacterias sulfurosas los extraen del ácido sulfhídrico, dejando azufre elemental como subproducto. Estras bacterias fotosintéticas son siempre anerobias.

Las cianofíceas azules (procariotas y todos los eucariotas foto-autótrofos, tienen capacidad para arrancar electrones del agua, con desprendimiento de oxígeno. En su día, el oxígeno vertido sobre una atmósfera originalmente anaerobia, abrió el paso a la evolución de los quimio-heterótrofos aerobios. Actualmente existe un equilibrio entre el consumo que hacen éstos y la producción por los foto-autótrofos.

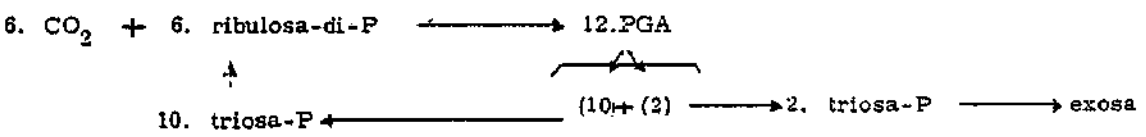
En las reacciones oscuras, el ATP (energía) y NADP.H. (poder reductor) procedentes de las luminosas, se emplean para fijar y reducir el CO_2 atmosférico hasta formar hidratos de carbono. Existen por lo menos tres modalidades bioquímicas para la fijación de CO_2.

Algunas bacterias son capaces de realizar el ciclo de Krebs a la inversa. Partiendo del ácido oxalacético fijan CO_2 por dos veces y a través del ácido cítrico regeneran de nuevo oxalacético, produciendo como balance neto una molécula de ácido acético. Aunque poco frecuente, el método no deja de tener su importancia teórica.

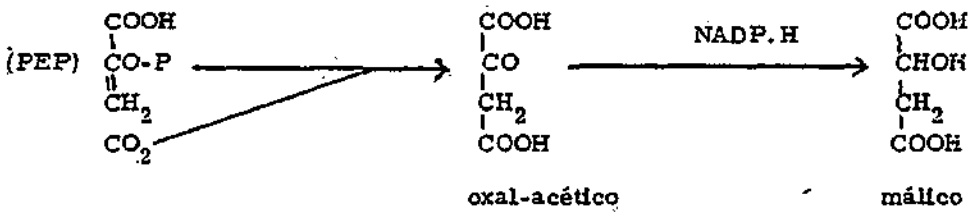
La gran mayoría de los seres foto-autótrofos fijan el CO_2 sobre una molécula de ribulosa (pentosa) di-fosfato dando un compuesto de adición de vida muy corta que se resuelve en dos moléculas de PGA. En la reducción del PGA a PGAL (!reaci inversa de la que ocurre en la glicolisis!) intervienen el ATP y el NADP. H originados en las reacciones luminosas. Dos moléculas de triosa se condensan entonces para formar una de exosa.



En realidad, sólo dos de cada doce triosas producidas van a parar a exosa, dedicándose el resto a regenerar la ribulosa que hace falta para seguir fijando anhídrido carbónico. La regeneración de la ribulosa ocurre a través de una complicada serie de reacciones, donde intervienen triosas, tetrosas, pentosas, exosas y heptosas. Calvin las estudió utilizando carbono-14 como trazador radiactivo (1957).



Existen por último especies vegetales, generalmente adaptadas a climas secos y cálidos (maíz, sorgo, etc.) donde el anhídrido carbónico puede fijarse sobre el PEP (ácido fosfo-enol pirúvico) para dar ácido oxalacético que posteriormente se reduce a málico con el concurso del NADP. H.



A estas especies que fijan el CO_2 produciendo málico se las denomina abreviadamente plantas C_4. A las que lo hacen por la ruta explorada por Calvin y producen PGA, se las denomina plantas C_3.

Por la noche, los seres foto-autótrofos respiran exactamente igual que los quimio-heterótrofos. En cambio de día y al tiempo que la fotosíntesis, ocurre un tipo especial de respiración, la fotorrespiración donde se consume oxígeno y se desprende CO_2 pero sin formación de ATP. La fotorrespiración es mucho más activa en las plantas C_3 que en las C_4.

- Seres quimio-autótrofos

Utilizan moléculas reducidas sencillas como NH_3, SH_2 etc, que oxidan en aerobiosis para obtener energía. Pertenecen a este grupo un reducido número de organismos procariotas, como las bacterias nitrificantes, las bacterias férricas y las sulfurosas incoloras como Beggiatoa.

Beggiatoa por ejemplo, oxida el ácido sulfhídrico según la escala

$$SH_2 \dashrightarrow S \dashrightarrow SO_3^{=} \dashrightarrow SO_4^{=}$$

y almacena azufre elemental en sus filamentos como reserva energética.

Las bacterias nitrificantes viven en el suelo y oxidan el elemento nitrógeno según la escala.

$$\underline{NH_3} \dashrightarrow (N_2) \dashrightarrow NO_2^{-} \dashrightarrow NO_3^{-}$$

La primera fase hasta nitritos es realizda por varios géneros entre los que destaca Nitrosomonas. La fase de nitritos a nitratos corre a cargo del género Nitrobacter.

Las bacterias férricas viven en medios acuosos donde existe el ion ferroso (Fe^{++}) el cual oxidan a férrico (Fe^{+++}). Hay también bacterias que oxidan el hidrógeno molecular a agua.

Todos estos microorganismos tienen en la práctica un papel importantísimo en relación con los ciclos de los elementos naturales. Sin ellos quedaría sin cerrar el ciclo entre los compuestos inorgánicos reducidos procedentes de restos orgánicos, y las formas oxidadas que sirven directamente a la nutrición mineral de los vegetales.

2.2.- LA REPRODUCCION CELULAR

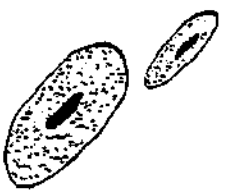
2.2.1.- Mitosis

Tras la duplicación del DNA bacteriano existen sin duda mecanismos que ayudan a separar espacialmente las dos macromoléculas resultantes para que queden a ambos lados del tabique. Pero aparte de la formación de éste, no hay nada especial que llame la atención cuando se observa al microscopio (óptico o electrónico) la bipartición.

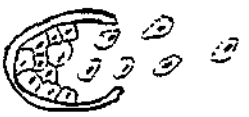
Cuando se divide el núcleo de las células eucarióticas, ocurren en cambio fenómenos muy conspicuos al microscopio óptico. Por un lado, aparece el huso acromatico o aparato mitótico, sistema de fibrillas que se forma a partir del centrosoma. Por otro, los cromosomas se hacen visibles, debido a que se acortan y engruesan por espiralización interna.

A la división del núcleo (mitosis o cariocinesis) sigue en general la división de la célula (citocinesis). En el caso más frecuente las dos células resultantes tienen aproximadamente el mismo tamaño (bipartición) pero en los eucariotas ocurre a veces que lo tienen distinto (gemación), o que por divisiones sucesivas, la célula madre produce un cierto número de células hijas en su interior que quedan posteriormente libres. (esporulación).

bipartición



gemación



esporulación

Desde el principio de la mitosis se pueden ver los cromosomas dobles, es decir, compuestos por dos cromatidios. Esto es así porque previamente se duplicó el DNA y se sintetizaron nuevas proteínas cromosómicas.

Los dos cromatidios gemelos que constituyen un cromosoma, se van desenrollando uno del otro a medida que engruesan por enrollamiento interno, permaneciendo unidos por el centrómero. Todo el aparato mitótico que la célula monta para dividirse, no tiene otro fin que proporcionar un mecanismo para separar ambos cromatidios y llevar uno a cada célula hija, todo ello para cada uno de los cromosomas presentes.

En la mitosis se conserva el número de cromosomas, los dos cromatidios hijos tienen idéntica información y cada célula hija recibe el mismo patrimonio hereditario.

.- Reproducción sexual y su significado

La mitosis es un mecanismo idóneo para conseguir un reparto equitativo de la información genética. De cada uno de los cromosomas se separan los dos cromatidios que llevan idéntica información genética a las dos células hijas. Al cabo de varias generaciones mitóticas, toda la descendencia de una célula será genéticamente homogénea.

Mirada desde un punto de vista ecológico o evolutivo, esta homogeneidad no es ni mucho menos con

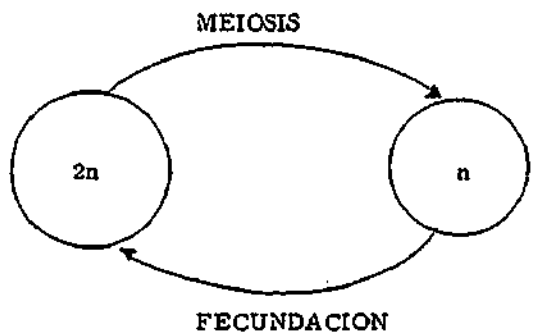
veniente. Cualquier variación perjudical en el medio ambiente (un descenso de temperatura, un aumento de salinidad, la presencia de un parásito, etc.) afectaría por igual a todos los individuos. Así, una población compuesta por individuos iguales esta', en general, mucho más expuesta a la extinción. Cuando por el contrario existen diferencias genéticas en los individuos, es muy probable que al menos algunos de ellos resistan la variación del medio y aseguren la continuidad de la especie.

El disponer de mecanismos que aseguren una variabilidad genética entre los seres vivos, es consustancial con la evolución misma. Uno consiste en que el DNA sufre a veces errores o equivocaciones en su duplicación, de modo que resulta alguna alteración en la secuencia de sus nucleótidos, o sea en su información genética. Estas alteraciones son las mutaciones, en verdad la única fuente real de genes nuevos.

Otro mecanismo de variabilidad se consigue con la reproducción sexual, que ya se empieza a esbozar en las bacterias, y que está generalizado en todos los demás organismos. Consiste en combinar en cada individuo material génetico procedente de dos progenitores normalmente distintos. La célula-huevo o cigoto se forma por fusión (fecundación) de dos células distintas (gametos).

Con esto a primera vista se iría duplicando el número de cromosomas, pero ello no ocurre porque también en cada generación actúa un mecanismo que se encarga de reducir aquél número a la mitad. Este es la reducción meiótica o meiosis.

Los seres con reproducción sexual presentan por tanto dos fases en su ciclo vital: la haploide (número de cromosomas mitad, n) y la diploide (número de cromosomas doble, 2n). El paso entre la primera y la segunda se realiza por medio de la fecundación; el paso de la segunda a la primera, por la reducción meiótica.



El número haploide n de cromosomas, forma un juego de ellos (genomio) que en las células diploides se encuentra repetido, de tal modo que a cada cromosoma le corresponde otro homólogo de igual tamaño y forma. Cada célula 2n por tanto contiene n parejas de homólogos, diez en el caso del maíz, veintitrés en el caso del hombre.

Tanto las células n como las 2n pueden a su vez dividirse por mitosis, conservando siempre su número de cromosomas original.

En los seres unicelulares, además del ciclo sexual, puede haber una multiplicación vegetativa de células por mitosis en alguna de las dos fases. Tal ocurre p.ej. en levaduras.

Los seres pluricelulares tienen tal condición porque alguna de las dos fases (o las dos) es susceptible de desarrollarse por mitosis, de modo que las célula resultantes en lugar de separarse permanecen unidas, comunicadas y organizadas.

Se llaman especies diplontes a aquéllas donde la fase diploide es la que se desarrolla para producir el cuerpo pluricelular, mientras que la fase haploide queda reducida al mínimo (los gametos) para completar el ciclo vital. Son diplontes todos los animales y también algunas algas como sifonales y fucales.

En las especies haplontes se hace pluricelular la fase haploide, quedando la dipoide reducida al cigoto. Son haplontes los homgos y las algas conjugadas.

En las especies diplohaplontes hay un desarrollo de las dos fases. Son diplohaplontes muchas algas y todas las cormofitas (musgos, helechos y fanerógamas). El desarrollo relativo de cada una de las dos fases puede variar mucho de unos grupos a otros.

2.2.2.- Meiosis

La meiosis es el proceso que reduce a la mitad el número de cromosomas, compensando la duplicación de los mismos que, por efecto de la fecundación, tiene lugar en los seres con reproducción sexual. La meiosis en los animales (diplontes) ocurre al formarse los gametos. En los vegetales (diplohaplontes) al formarse las esporas. En los seres haplontes, inmediatamente después de la fecundación.

El proceso completo consiste en dos divisiones consecutivas. Quizá lo principal a tener en cuenta es que en la metafase de la primera de ellas, los cromosomas no se sitúan independientemente en la placa ecuatorial sino por parejas de homólogos. Habrá pues n parejas, y cada célula hija se llevará n cromosomas, uno de cada pareja. La segunda división puede verse como si fuera una mitosis normal con n cromosomas. Es pues en la primera donde realmente ocurre la reducción a la mitad del número de cromosomas.

Cada una de las dos divisiones se puede estudiar dividiéndola en fases como se hace con las divisiones mitóticas. En la figura 2.2.6, se esquematizan los principales acontecimientos de la meiosis.

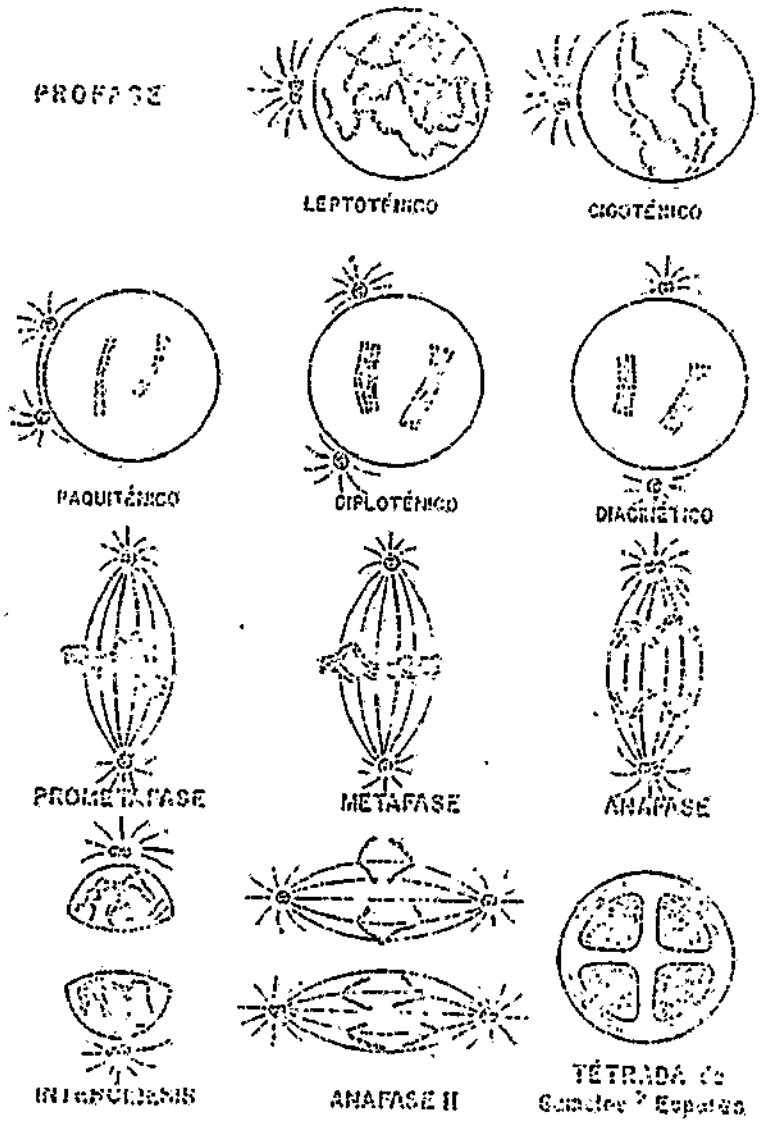


Figura 2.2.6.- Fases de la meiosis. Después de dos divisiones celulares consecutivas- en la primera de las cuales se han apareado previamente los cromosomas homólogos- se llega a cuatro células con la mitad del número de cromosomas que tenía la célula original.

3.1. LOS VIRUS

Su estructura se reduce a una única molécula de ácido nucleico recubierta de una envoltura proteica. La mayor parte de los virus tienen ya sea RNA monofilar o DNA difilar, pero, aunque -- más raramente, se dan también las otras dos posibilidades (DNA monofilar en el ΨX-174 y RNA difilar o duplex en los reovirus). Existe también algún caso curioso donde en generaciones sucesivas se van alternando el DNA y el RNA. Sea cualquiera la naturaleza de la molécula del ácido nucleico, existen casos donde ésta ocurre en forma lineal, y casos donde aparece en forma anular o cerrada en sus extremos. En los ácidos nucleicos de los virus son relativamente abundantes las bases metiladas o distintas de alguna manera a las de los organismos más superiores.

La envoltura proteica o cápsida carece de propiedades enzimáticas o las tiene muy restringidas. Consiste en una o pocas unidades repetidas (capsómeros), que dan lugar a una morfología sencilla, por ejemplo poliédrica, de varilla, etc. Algunos virus pueden presentar formas más complicadas.

Su tamaño es del orden de una décima de micra, por lo que resultan invisibles al microscopio ordinario y atraviesan los filtros que normalmente se usan en bacteriología. Precisamente se -- descubrió su existencia al comprobar que ciertos filtrados conservaban propiedades infectivas -- (Ivanowsky, 1880). Con el microscopio electrónico se estudian con gran facilidad. Desde el punto de vista químico, la partícula vírica o "virión" es un conjunto molecular gigante. Desde el -- punto de vista biológico son los seres más pequeños y simples que se conocen. Podrían considerarse como información genética prácticamente desnuda, exenta de los medios necesarios para expresarla.

Aunque los virus son capaces de reproducirse, sólo lo hacen a expensas del aparato enzimático y de los enlaces energéticos suministrados por las células que parasitan. Siempre se comportan como parásitos obligados endocelulares, y parecen atacar exclusivamente a cuatro grupos taxonómicos: bacterias, angiospermas, artrópodos y cordados. No se les puede cultivar en medios nutritivos artificales como se hace con las bacterias, pero muchos se desarrollan bien sobre embriones vivos de pollo.

Tras la infección, los virus monopolizan el aparato biosintético de la célula huésped, dirigiéndolo en provecho propio. Los que contienen RNA parecen fijarse a los ribosomas de la célula huésped, induciendo la síntesis de los capsómeros y de las enzimas necesarias para la replicación -- del RNA vírico. Los mismos objetivos son conseguidos por los virus que contienen DNA al adscribirse a los cromosomas de la célula huésped y transcribir un RNA extraño y dirigido a promover la síntesis de nuevas partículas víricas.

Un virus aislado no puede multiplicarse, pero llega a conservar muchos años la capacidad de infectar que le confiere su información genética. Como la materia inanimada, los virus pueden -- cristalizar, propiedad que parece situarles en las fronteras entre lo vivo y lo no vivo.

— Tipos de virus

Una gran parte de los estudios sobre virus, se han hecho en el interesante grupo de los bacteriófagos (abreviadamente fagos) que atacan a las bacterias. Su cuerpo poliédrico va unido a una cola contráctil (aparato inyector) por medio del cual se fijan exteriormente al cuerpo de la bacteria. Los fagos tienen poder enzimático para disolver la pared bacteriana. El DNA es entonces inyectado hasta el interior de la célula y a expensas de ella se multiplica. Al final, la bacteria sufre lisis (se desintegra) y quedan en libertad unas cuantas docenas o centenares de fagos dispuestos a infectar nuevos huéspedes. De este modo, una suspensión traslúcida de bacterias puede volverse transparente en muy poco tiempo por acción de los fagos.

También existen fagos moderados, que no lisan las bacterias, al penetrar en ellas, sino que adicionan su información genética a la del huésped sin consecuencias visibles para éste, y pueden persistir así muchas generaciones bacterianas. Esta curiosa relación se llama lisogenia, y profago el estado correspondiente del virus.

Los virus que atacan a los vegetales suelen ser los de menor tamaño, y tienen solamente RNA. Se transmiten a través de insectos masticadores y chupadores, y no parecen ser demasiado específicos en cuanto a los huéspedes que atacan. Las enfermedades que producen se llaman virosis, y se manifiestan exteriormente como manchas claras en hojas y flores, rizamiento de limbos, tumores, etc. Uno de los primeros virus que se conocieron fué el agente que origina el "mosaico" del tabaco.

Muchas enfermedades del hombre y de los animales domésticos son también debidas a virus. Las viruelas humana y aviar y la mixomatosis del conejo son producidas por agentes del grupo poxvirus, de tamaño relativamente grande y con DNA. Al grupo de los myxovirus pertenecen los agentes de la peste aviar, diversas modalidades de gripe y el sarampión; son más pequeños y contienen RNA. También con RNA y muy diminutos son los enterovirus, que viven benignamente en el intestino pero pueden adquirir carácter patógeno; a este grupo pertenece el de la poliomielitis.

Los tumores malignos de animales, al menos en parte, pueden ser efecto de infecciones víricas (Roux). En este sentido promete grandes perspectivas el estudio del virus del polioma. Cuando penetra en una célula no produce lisis en todos los casos, sino que a veces pasa a permanecer en ella de un modo análogo a los fagos lisogénicos, pero interviniendo en el metabolismo de la célula y dirigiéndolo en sentido favorable a un desarrollo de tipo maligno.

3.2.-LOS PROCARIOTAS: BACTERIAS Y CIANOFICEAS

En contraposición con los virus, los organismos celulares son capaces de producir una gran diversidad de enzimas. Estas enzimas, con los sustratos y productos de las reacciones que catalizan, permanecen en las cercanías del material nuclear, formando en conjunto la unidad que denominamos célula. Cada célula limita con su exterior por una membrana de naturaleza lipo-proteica.

La célula de los procariotas es ya muy complicada bioquímicamente, pero está poco diferenciada desde el punto de vista de su estructura interna. En los eucariotas hay en cambio una amplia

compartimentación interior y un cierto número de orgánulos que facilitan los procesos reguladores del metabolismo.

3.2.1.- La célula bacteriana

Como en todas las células, su protoplasma limita externamente con una membrana de carácter lipoproteico. En las bacterias existe siempre, además, un depósito exterior o pared. El material que forma esta pared viene a ser un mucocomplejo que por hidrólisis da aminoazúcares, aminoácidos y ácido murámico. Gram ideó un método de tinción para la pared que tiene un gran valor taxonómico al distinguir dos grandes grupos de bacterias: las Gram$^+$ y las Gram$^-$. Estas últimas poseen una capa de lipo-polisacáridos y proteínas por fuera del muco-complejo, y toman un color rojo en lugar de violeta. La penicilina y algunos otros antibióticos, interfieren negativamente con la síntesis de los materiales de la pared bacteriana. Una enzima también descubierta por Fleming, la lisozima, puede hidrolizar el mucocomplejo.

Las bacterias tienen un cromosoma único, formado por un duplex de DNA con sus extremos unidos en forma de anillo. La longitud total del duplex es del orden de mil veces la longitud del cuerpo de la bacteria. Pueden existir además plasmidios o episomas, fragmentos de DNA independientes del cromosoma o relacionados sólo indirectamente con él. Con la reacción de Feulgen (fucsina básica y sulfuroso) que es específica del DNA y no tiñe el RNA se puede distinguir una región nuclear, pero siempre poco definida al no haber carioteca que la delimite. En Escherichia coli, una bacteria estudiada a fondo desde el punto de vista genético, se sabe con exactitud la localización en el cromosoma de un gran número de genes.

En el protoplasma bacteriano hay ribosomas visibles con el microscopio electrónico. No aparece sin embargo un retículo endoplasmático desarrollado, pero hay un mesosoma o repliegue membranar que pudiera considerarse como un retículo rudimentario. En las bacterias fotosintéticas hay también membranas citoplasmáticas cerradas e independientes, que a veces están además aplanadas y apiladas para formar gránulos destinados a captar la luz. No hay mitocondrias ni verdaderos cloroplastos, y las vacuolas son inexistentes o muy poco desarrolladas. Abundan en cambio las inclusiones de materiales diversos, principalmente de reserva (glucógeno, ácido poli hidroxi-butírico. granos de azufre, polifosfato, lípidos, etc.) De entre los lípidos es de hacer notar que los procariotas son incapaces de sintetizar esteroides. En muchas especies de bacterias existen flagelos que les confieren movilidad; su estructura es equivalente a cada uno de los filamentos elementales de miosina que se asocian para formar los cilios y flagelos de los eucariotas.

Importancia de las bacterias

Las bacterias constituyen un grupo de microorganismos muy abundante, de límites taxonómicos más bien imprecisos. Las más características suelen incluirse en el super-orden Eubacterias (cuadro 1). Por su organización intermedia entre los virus y los eucariotas, las bacterias tienen gran importancia teórica en cuanto nos ayudan a comprender una de la fases más interesantes de la evolución en nuestro Planeta: el desarrollo de la actividad bioquímica controlada.

No faltan seres vivos que por su organización pudieran situarse entre los virus y las bacterias. Los Mycoplasma y las Rickettsias, por ejemplo, son como bacterias más pequeñas de estructura más simplificada. Los primeros carecen incluso de pared, aunque no de membrana. Faltan sin embargo

datos para decidir si se trata realmente de virus progresistas o de bacterias regresivas.

La radiación evolutiva de los procariotas ha explorado prácticamente todas las posibilidades en cuanto a formas de nutrición. De ahí que las bacterias exploten una amplia gama de nichos ecológicos y cumplan a veces funciones de gran transcendencia para la Naturaleza en conjunto. Hay bacterias fotosintéticas que tienen la particularidad de no producir oxígeno, pues nunca emplean el agua como fuente de hidrógeno. Otras son quimiosintéticas y obtienen su energía, oxidando diversos compuestos minerales de azufre, nitrógeno, hierro, etc. Con estas reacciones cierran el ciclo natural de los mencinnados elementos, dejando en forma aprovechable para las plantas (forma oxidada) los compuestos que la Naturaleza recibe en forma reducida como subproductos del metabolismo de los animales o de los restos orgánicos en general.

Las bacterias heterótrofas, viven muchas veces a expensas de materiales orgánicos no vivos, descomponiéndoles completamente cuando las condicones son aerobias, o realizando fermentaciones cuando son anaerobias. De gran importancia son las que actúan descomponiendo la materia orgánica de cadáveres, deyecciones y residuos (putrefacción): oxidando el carbono contribuyen decisivamente a cerrar también el ciclo natural de este elemento. Algunas de las fermentaciones que pueden producir las bacterias anaerobias, tienen aplicaciones industriales (yogourt, etc.). Otras bacterias viven asociadas con diversos organismos superiores. Entre éstas se encuentran las que ayudan a los rumiantes a digerir la celulosa o a las leguminosas a fijar el nitrógeno atmosférico. La luminiscencia de muchos animales se debe también casi siempre a bacterias simbióticas que tienen capacidad para realidar ciertas reacciones fotoquímicas.

Una proporción relativamente baja de las bacterias heterótrofas son parásitas, y producen enfermedades en plantas y animales. Fitopatógeno es, por ejemplo el Pseudomonas savastanoi que produce la tuberculosis del olivo. También el Bacillus phytophtorus que es causante de la podredumbre de las patatas. Algunas bacterias zoopatógenas : Bacillus anthracis (carbunco), Clostridium tetani (tétanos), Corynebacterium diphteriae (difteria), Salmonella tiphi (tifus) y Vibrio colerae (cólera).

Las bacterias se pueden cultivar con facilidad en el laboratorio, usando medios nutritivos de complicación variable según las exigencias nutritivas de cada especie. Los nutrientes van disueltos en forma líquida, o solidificados con agar o gelatina. Muchos de los métodos que hoy se emplean fueron desarrollados por Pasteur y Koch a finales del siglo pasado. Otro cúmulo de avances en el estudio de las bacterias se debe a Beijerinck y Winogradsky ya en este siglo

CUADRO 1.

EUBACTERIAS (algunas familias y géneros característicos):

Gram⁺ :	Micrococáceas	Micrococcus, Sarcina
	Lactobacteriáceas	Streptococcus
	Corinebacteriáceas	Corynebacterium
	Baciláceas	Bacillus, Clostridium
Gram⁻ :	Clorobacteriáceas	
	Azotobacteriáceas	Azotobacter
	Rizobiáceas	Rhizobium
	Nitrobacteriáceas	Nitrosomonas, Nitrobacter
	Tiobacteriáceas	Thiobacillus
	Espiriláceas	Vibrio, Spirillum
	Enterobacteriáceas	Escherichia, Salmonella

Además de las eubacterias, hay otros grupos de procariotas cuya posición taxonómica adecuada se considera dentro de las bacterias.

Los actinomicetos están claramente emparentados con las eubacterias, pero ofrecen curiosas analogías con los hongos por su estructura filamentosa y por formar esporas en la extremidad de filamentos. Ejemplos: Actinomyces parásitos; Mycobacterium tuberculosis, produce la tuberculosis humana; del Streptococcus griseus aisló Waksman la estreptomicina.

Las myxobacterias tienen una pared extremadamente fina que les permite ser flexibles y tener una forma característica de movimientos, por deslizamiento sobre medios sólidos, cuya mecánica se desconoce. En su ciclo vital presentan una fase pluricelular, (cuerpo fructífero) que se origina por agregación de células y acaba resolviéndose en esporas. Con esto puede decirse que simulan a otro grupo de protozoos eucariotas, los mixomicetas. Citophaga, celulolítico, puede disolver en poco tiempo un trozo de papel de filtro.

Las espiroquetas, tienen forma helicoidal característica. Treponema, produce la sífilis.

El género Beggiatoa, considerado por algunos como una cianofícea incolora por su forma filamentosa, oxida el sulfhídrico hasta sulfato y almacena azufre elemental como reserva energética inorgánica.

3.2.2.- Las cianofíceas

También llamadas esquizofíceas, y más impropiamente, algas azules. Son organismos en principio unicelulares que se multiplican por bipartición y llegan a formar a menudo filamentos o masas poco compactas, con las células envueltas en una sustancia mucilaginosa común que sirve para mantenerlas unidas y para retener la humedad en caso de desecación del medio. También aquí se da el movimiento por deslizamiento. Los filamentos se reproducen a veces por hormogonios, fragmentos de varias células que se separan. También hay esporas unicelulares.

La nutrición es generalmente autótrofa fotosintética, y además de clorofila hay cianofila o ficocianina. Pueden ya utilizar el agua como fuente de hidrógeno y producir por tanto oxígeno, igual que las verdaderas algas o las plantas superiores. Algunas pueden, además, fijar nitrógeno atmosférico, con lo que sus exigencias nutritivas son ínfimas y pueden colonizar las zonas más inhóspitas. Se las encuentra hasta en las aguas termales, a más de 60ºC.

Oscillatoria forma filamentos cilíndricos que se reproducen solo por hormogonios, Nostoc, también cilíndrico, puede originar esporas. Los filamentos de Rivularia disminuyen en grosor desde la base hasta el ápice. Merismopedia forma láminas, Gloeocapsa, masas de pocas células envueltas de mucílago.

3.3.- LOS PROTISTOS

El reino de los Protistos está formado todo él por organismos eucarióticos y unicelulares; El tamaño de cada uno puede oscilar entre 2-3 µ y algunos milímetros. Por su condición de eucariotas, tienen un núcleo bien definido y separado del citoplasma por una carioteca. Poseen además mitocondrias, y pueden o no, tener cloroplastos.

Por su nutrición, una gran parte de los protistos son químio-heterótrofos. Otros están dotados de clorofila y son fotosintéticos. Como materiales de reserva acumulan grasa, glucógeno o paramilo, sustancias estas dos últimas muy parecidas al almidón. En los heterótrofos es frecuente la formación de vacuolas digestivas. Las llamadas vacuolas pulsátiles sirven para expulsar el agua que continuamente penetra en su cuerpo por ósmosis. En cambio en los fotosintéticos, la osmo-regulación se consigue a través de una pared rígida de celulosa que evita una excesiva turgencia.

La reproducción puede ser sexual o asexual. Normalmente son diplontes, esto es, solamente las células diploides son capaces de dividirse por sucesivas mitosis (separándose cada vez) mientras que cuando se forman haploides por meiosis (gametos) su fin consiste en fusionarse y dar cigotos.

Cuando las condiciones del ambiente se vuelven adversas, casi todos los protistos se enquistan rodeándose de una pared gruesa que les defiende de la desecación. Su metabolismo queda así amortiguado a la espera de poder reactivarse cuando el ambiente se haga más favorable.

Además de un acentuado interés teórico en citología, genética y filogenia, los protistos presentan también interés práctico como componentes esenciales de las cadenas alimenticias naturales, como habitantes del suelo agrícola, como simbiontes celulolíticos de muchos animales, o como productores de enfermedades en el hombre y animales domésticos.

La subdivisión en tipos, se hace atendiendo al modo de locomoción que predomina.

- Tipo Mastigóforos

Llamados también comúnmente flagelados por la presencia de uno o varios flagelos que les sirven para la locomoción. Algunos presentan además seudópodos, por lo que no queda bien definida su frontera con los sarcodinos.

Los flagelados verdes fotosintéticos reciben el nombre de fitomastiginos. Como ejemplo muy conocido podemos citar la Euglena. Esperimentalmente puede hacerse degenerar el sistema plastidial de un flagelado verde para obtener formas heterótrofas que pueden aún desarrollarse si se las sitúa en un medio adecuado con nutrientes orgánicos. Puede por tanto verse este grupo como en el vértice a partir del cual divergen el mundo vegetal y el animal. Los fitomastiginos son parte muy destacada del plancton marino o de las aguas dulces, etapa inicial de las cadenas alimenticias de la ecología acuática.

Los zoomastiginos carecen de clorofila y son de ahí heterótrofos, Trichomympha es capaz de digerir la madera y vive como simbionte en el digestivo de las termitas. Tripanosoma produce la enfermedad del sueño y es transmitido por la mosca tse-tse en las zonas tropicales.

Tipo Sarcodinos

También llamados rizópodos. Se mueven por seudópodos, que pueden ser cortos y gruesos (lobópodos) o largos y finos (filópodos), estos últimos muchas veces anastomosables, esto es, capaces de entresoldarse entre sí.

Siempre heterótrofos, los sarcodinos adquieren su alimento a través de la formación de vacuolas digestivas. A menudo el citoplasma contiene alguillas unicelulares que viven con ellos en simbiosis, proporcionando materia orgánica a cambio de anhídrido carbónico.

En los amebinos, las células son desnudas, con forma variable e irregular. Amoeba, abunda en charcas. Entamoeba es parásita del intestino humano y produce disenterías. Los tecamebinos son parecidos, pero están parcialmente recubiertos por un caparazón (Arcella, Difflugia).

En los foraminíferos el caparazón es calizo y perforado por muchos poros muy finos. Peneroplis tiene forma de caracol diminuto, Numnulites y Globigerina fueron muy abundantes en épocas geológicas pasadas, llegando algunas veces a alcanzar gran tamaño

Los heliozoos tienen también forma definida y constante, poseyendo un esqueleto con finas espículas radiantes recubiertas de citoplasma que forma sus seudópodos. Ej.: Actinophryx.

Los radiolarios tienen igualmente simetría radial, con piezas esqueléticas de sílice y una complejidad interna verdaderamente admirable. Acanthometra y Talassicola forman parte del plancton en alta mar.

Tipo Esporozoos

Se reúnen aquí los protistos parásitos, productores de esporas, desprovistos de aparatos locomotor, haplontes. Tienen ciclos biológicos complicados, adaptados a los huéspedes en que se alojan.

Varias especies del género Plasmodium producen la malaria en aves y mamíferos. En el caso del hombre actúa como vector el mosquito Anopheles.

El Plasmodium pertenece al grupo de los hemosporidios. Al grupo de los coccidios pertenecen otros esporozoos responsables de las coccidiosis de los animales domésticos. El grupo de los cnidosporidios incluye especies parásitas de peces y de insectos de interés económico, como p. ej. el gusano de seda.

Tipo Ciliados

Se les llama también infusorios por ser muy abundantes en las infusiones vegetales. Son los seres unicelulares que presentan una estructura interna más compleja y evolucionada. Se mueven por cilios y se alimentan a través de vacuolas digestivas que se forman en un punto localizado del cuerpo.

Se reproducen por bipartición de células diploides, pero cada cierto número de generaciones experimentan meiosis y se conjugan sexualmente. Son por tanto diplontes.

Ejemplos: Paramoecium y Vorticella

3.4.- EL REINO DE LOS HONGOS

Durante mucho tiempo considerados como vegetales, se tiende hoy a estudiar los hongos incluyendolos en un reino distinto al aceptar los modernos criterios de separación de los seres vivos en VIRUS, MONERAS (procariontes), PROTISTOS, HONGOS, VEGETALES y ANIMALES. El reino de los HONGOS comprende desde este punto de vista las divisiones de 1) Mixomicetos y 2) Eumicetos.

Tenemos razones para mantener este criterio. Los hongos presentan un número de diferencias (!y semejanzas!) notable con cada uno de los restantes reinos. Como los vegetales, los hongos son inmóviles (a excepción de los mixomicetos). También poseen paredes celulares espesas en las que está presente la celulosa. Su estrategia de utilización de las alternativas de reproducción sexual, y asexcual, la - - -

existencia de esporas y la evolución seguida desde formas unicelulares móviles a estructuras cenocíticas primero, policíticas después, nos recuerda mucho a los talófitos fotosintéticos, esto es las algas.

Como los animales, los hongos son heterótrofos obligados (y en ésto difieren drásticamente del reino vegetal), su pared celular está formada principalmente por quitina, polímero de la acetil-glucosamina que también aparece en varios grupos de animales. Además, coinciden en la utilización del glucógeno (y no del almidón) como reserva hidrocarbonada.

Dentro de su nitrición heterótrofa, muchos hongos son saprobios, esto es utilizan como fuente de energía substratos orgánicos en descomposición, o mejor todavía a través de la producción de exoenzimas (como las bacterias, de las que difieren fundamentalmente por sus células eucarióticas). Otros hongos son parásitos, viviendo a expensas de especies hospedantes vegetales o animales. También se observa una cierta frecuencia de formas simbióticas (micorrizas por ej.) que llegan a extremos insospechados en su compromiso etológico (líquenes). Las estructuras pluricelulares (talo) que constituyen el cuerpo de muchos eumicetos absorben solamente sustancias nutritivas en disolución, pero los mixomicetos pueden hacerlo además por fagocitosis al modo de muchos protistos.

Por si fueran pocas las razones anteriores para considerarlos como grupo aparte, en los hongos aparecen ciertas particularidades que ayudan a diferenciarlos del resto de los seres vivos, tales como su organización en hifas y micelios, el fenómeno de la dicariogamia, sus característicos cuerpos fructíferos y varios aspectos más relacionados con la mitosis y meiosis fúngica, sus fenómenos de parasexualidad, la intensa circulación protoplasmática en el micelio, etc.

Nadie puede dudar de la importancia del estudio de los hongos. Desde un punto de vista puramente teórico más de 200.000 especies de eumicetos con sus diferentes formas de vida, estructuras y distribución justifican ampliamente se les dedique algo de atención. Pero aún más, desde el punto de vista aplicado, el conocimiento del reino de los hongos tiene un interés múltiple: a) hay especies comestibles como el níscalo (Lactarius deliciosus) e incluso cultivables (el champiñon, Psallotia campestris);b) muchas especies son parásitas vegetales y por lo tanto abundan las enfermedades de las plantas cultivadas debidas a hongos (Fusarium,Puccinia, Uncinula); también las hay patógenas animales, incluso humanas (Candida albicans, Histoplasma capsulatum); d) industrialmente se utilizan en diferentes procesos fermentativos (elaboración de bebidas alcohólicas, panificación, industrias lácteas); e) en farmacología se utilizan los hongos como fuente de antibióticos, drogas y otros fármacos (Penicillium,Claviceps); f) por si todo lo anterior no fuera suficiente recordemos el importantísimo papel de los hongos en el reciclaje de la materia orgánica en el suelo, gracias a su capacidad degradativa de polisacáridos como celulosas, ligninas y hemicelulosas (en los primeros 15 cm. de suelo fértil puede haber más de 5 Tm /Ha de hongos); g) tampoco hay que olvidar la colaboración fúngica en la nutrición de muchas especies vegetales superiores (Fagáceas, Salicáceas, Orquidáceas) en simbiosis endo o exotrofa con ellas (micorrizas).

El cuerpo de los hongos está formado por filamentos denomiados hifas. Las agrupaciones entremezcladas de éstas constituyen el micelio. A todo lo largo del micelio se sintetizan proteínas que son transportadas hacia los ápices donde las hifas se dividen haciendo progresar al hongo. Cuando el cuerpo micélico aprieta densamente sus hifas, forma estromas. Los hongos saprófitos tienen a veces hifas transformadas en rizoides. Los parásitos en haustorios. En el micelio de los hongos se diferencian los gametangios (anteridios y oogonios, donde se producen los gametos ♂ y ♀ respectivamente)

y esporangios (para la formación de esporas). Estas fructificaciones presentan un elevado interés taxonómico.

Diversas son las teorías y opiniones que han sido planteadas sobre el origen de los hongos. Descartando su entronque con las bacterias a través de los actinomicetos, hay autores que mantienen cierta relación con las algas a través de los ficomicetos. Efectivamente hay algas filamentosas, pero no existen antecedentes de que los hongos hayan conocido la nutrición fotótrofa. Otros autores defienden un primitivo entronque con los protozoos a través de los mixomicetos (que poseen células ameboides y flageladas). Sea como fuera, la serie MIXOMICETOS --→ ASCOMICETOS --→ BASIDIOMICETOS sigue un orden de complejidad creciente con formas cada vez más evolucionadas.

PRINCIPALES GRUPOS DE HONGOS:

DIVISION

MIXOMICOFITOS: Fases asimiladores generalmente desnudas, constituídas por masas protoplasmáticas desnudas (plasmodios) saprofíticos, glucógeno como substancia de reserva. CLASE más importante con 450 especies: MIXOMICETOS.

EUMICOFITOS (Hongos verdaderos)

	CLASES	ORDENES	GENEROS IMPORTANTES
1- Micelio no tabicado, ciclo haplonte...	FICOMICETOS	OOMICALES:	Plasmopara, Albugo, Phytophtora
- Micelio tabicado 2		ZIGOMICETALES:	Mucor, Rhizopus
2- Facies sexual desconocida	DEUTEROMICETOS	ESFEROPSIDALES:	Septoria, Phyllosticta
		MELANCONIALES:	Colletotkichum, Gloesporium
		HIFALES :	Monilia, Fusarium, Botrytis
- Facies sexual conocida 3			
3- Reproducción sexual por ascas	ASCOMICETOS	ENDOMICETALES:	Saccharomyces, Candida
		ASPERGILLALES:	Penicillim, Aspergillus
		PERISPORIALES:	Uncinula, Capnodium
		PIRENIALES :	Claviceps
		DISCOASCALES:	Periza, Sclerotina
		TUBERALES :	Tuber
- Reproducción sexual por basidios	BASIDIOMICETOS	UREDINALES :	Puccinia
		USTILAGINALES:	Ustilago, Tilletia
		GASTEROMICETALES:	Lycoperdon
		POLIPORALES:	Clavaria, Polyporus
		AGARICALES :	Amanita, Lactarius, Psalliota

3.5.-EL REINO VEGETAL

Los vegetales son organismos uni o pluricelulares. Sus células, eucarióticas, están provistas de pared celular, bastante vacuolizadas, y sus cloroplastos contienen pigmentos que participan en la captación de la luz en las reacciones luminosas de la fotosíntesis. Se trata por consiguiente de seres fotolitotrofos, cuya fotosíntesis consiste en la producción de NADPH y ATP a partir de la fotolisis del agua, con desprendimiento de O_2. El poder reductor y la energía obtenidos son utilizados en las reacciones oscuras del estroma, en la síntesis de moléculas orgánicas a través de la reducción del CO_2, así como en otros procesos de reducción de otros nutrientes minerales como los nitratos. Algunas líneas finales de la evolución de varios phyla han olvidado total o parcialmente esta nutrición autótrofa, generalmente por adaptación y compromiso a la vida en parasitismo (Cuscuta. Orobanche Viscum).

Se pueden resumir brevemente las características generales de la organización vegetal en cada uno de los tres siguientes niveles:

- a nivel moleculas
  - formación de macromoléculas de celulosa
  - presencia de clorofila
  - utilización de almidón como reserva
- a nivel celular
  - pared rígida en torno al protoplasto
  - presencia de plastos
  - gran vacuolización
- a nivel organismo
  - falta de capacidad de locomoción
  - simetría radial
  - actividad meristemática (crecimiento) localizada, y a lo largo de la vida.

Existe normalmente reproducción sexual con alternancia de fases haploides y diploides (ciclo diplohaplonte), aunque como veremos, aparecen casos muy desplazados hacia los extremos: ciclos haplontes y diplontes totales. También existe y tiene muchas veces gran importancia y eficacia, la reproducción asexual.

La dependencia energética de la luz solar obliga a conseguir unas relaciones superficie/volumen grandes, a fín de presentar una extensa superficie de captación de fotones. Esto ha condicionado bastantes de las características más generales de los vegetales tales como su inmovilidad (no hace falta buscar el alimento, sólo hay que "contactar extensamente" con él) y la simetría radiada (es preciso explorar por igual todo el espacio desde su posición inmóvil).

Principales grupos taxonómicos y su filogenia:

Un largo proceso de evolución, cuyo origen podría situarse hace más de 3.000 millones de años -- (Archaeosphaeroides, vegetal unicelular del Precambrico inferior, Sudáfrica) ha determinado la gran diverdidad que caracteriza el reino vegetal. Se han descrito en el mundo alrededor de 350.000 especies vegetales y se conocen muchas formas fósiles. Estas han puesto de manifiesto la existencia en

el pasado de paisajes vegetales muy diversos, así como la aparición evolución y desaparición de numerosos grupos que han sido sustituídos por otros.

Son varios los puntos de vista (morfológico, anatómico, fisiológico, sistemas de reproducción, relaciones con el medio...) a partir de los que puede abordarse el estudio y clasificación de los vegetales. Vamos a intentar seguir un sistema basado en las relaciones evolutivas presentando los principales grupos que integran el reino vegetal y utilizando el hilo conductor de la filogenia.

Todavía no es posible tener una visión completa de la evolución vegetal por existencia de numerosas lagunas, pero se conoce, casi por completo la "serie principal" que partiendo de las plantas marinas del tipo algas conduce hasta las actuales plantas con flores.

Hemos resumido en catorce niveles los principales pasos seguidos por la evolución del reino vegetal a lo largo de los periodos geológicos. (Cuadro 1).

Todavía es muy difícil, pese a las tentativas realizadas por diversos autores, ofrecer un sistema perfecto de clasificación del reino vegetal (niveles 6-14) ya que los datos de partida proceden fundamentalmente de los descendientes (muy especializados) de una serie de troncos cuyas relaciones son muy oscuras.

Hace un siglo, los botánicos distinguían dos grupos principales: las criptógamas, o plantas sin flores (donde se incluían algas, hongos, musgos y helechos) y las fanerógamas, con flores. Posteriormente se hicieron cuatro divisiones: talófitas (algas y hongos), briófitas (musgos y hepáticas), pteridófilas (helechos, licopodios y equisetos) y espermatofitas (gimnospermas y angiospermas).

Las algas, se consideran actualmente evolucionadas a partir de los protistos por una serie de líneas más o menos independientes. Estos grupos de algas incluyen a veces representantes que desde el punto de vista evolutivo deberían tratarse como pertenecientes al nivel 5.

La división Briófitos no parece hallarse en la línea principal de evolución hacia las plantas superiores como en ocasiones se pensó.

Las plantas vasculares con hojas y sistema conductor se consideran derivadas de un grupo primitivo, el de los Psilófitos, según tres direcciones divergentes. Una condujo a los actuales licopodios, otra a los equisetos y la tercera está integrada por los helechos. Las plantas que las componen son semejantes y se reproducen por esporas. Pueden englobarse las tres bajo la denominación Pteridófitas que significa plantas con forma de helechos.

La adquisición de la semilla se emplea para agrupar a los dos grupos más evolucionados, Gimnospermas y Angiospermas, dentro de la división Espermatófitos.

CUADRO 1

Periodos geológicos	millones de años	
		1) Abiogénesis
		2) Serie primitiva de protobiontes, hasta los ácidos nucleicos con autorreproducción.
		3) Serie derivada de protobiontes, hasta la formación de células individuales.
	3.000	4) Unicelulares y algas filamentosas sin núcleo celular (procariotas, bacterias y cianofíceas).
Precámbrico		5) Flagelados unicelulares eucariotas con unisexualidad (protistos). Comienza la especialización animal.
		Hongos
	2.000	6) Algas filamentosas sin ramificación
	1.000	7) Algas filamentosas ramificadas (todavía con vida libre)
	600	8) Algas fijas; inicialmente filamentos ramificados, seguidas de estructuras talosas con crecimiento en las tres direcciones del espacio.
Cámbrico		Alternancia de generaciones.
Silúrico	.400	9) Plantas terrestres primitivas, aún con forma talosa. Psilofitos--Rhynia- y Briófitos.
Devónico		10) Formas de transición hacia los cormófitos típicos. Evolución de la homosporia a la heterosporia.
Carbonífero	350	11) Helechos heterospóros.
Pérmico	300	12) Plantas con semillas: Gimnospermas con fecundación por espermatozoides.
Jurásico	200	13) Gimnospermas con fecundación por tubo polínico.
Cretácico	120	14) Angiospermas.
Terciario		
Cuaternario		

ALGAS:.

En general se considera actualmente que las algas comprenden varias líneas evolutivas paralelas, muy poco relacionadas entre sí. El grupo en conjunto es muy artifical ya que agrupa a representantes de varios niveles evolutivos (4 al 8). Entre sus características están:

- Generalmente poseen clorofila y son fotosintéticas. Algunas son hetetótrofas pero siempre derivadas de formas con clorofila. Las hay autótrofas facultativas en función de las condiciones del medio.

- Las estructuras reproductoras separan bien a las algas de otros grupos vegetales: son unicelulares y carecen de capas de células estériles. Raramente se desarrolla el cigoto sobre la planta femenina pues los gametangios masculinos y femeninos liberan gametos en el agua, medio en el que suele tener lugar la fecundación. La reproducción vegetativa o asexual también es frecuente.

- Otro carácter distintivo es la ausencia de un auténtico sistema vascular. No hay ni verdaderas raíces, ni tallos ni hojas. La diferenciación en tejidos es generalmente pequeña con sólo algunas excepciones en los grupos más evolucionados (Feofíceas).

Divisiones de las Algas:

- CRISOFITOS: Tambien llamadas algas pardoamarillentas (Crisofíceas y Diatomeas) y verdeamarillentas (Xantofíceas). La mayoría son unicelulares, a veces coloniales. Los pigmentos característicos son: clorofila a y a veces clorofila c, diadinoxantina y ficoxantina.

- CLOROFITOS: Especies dulceacuícolas y algunas marinas. Son productores primarios. Es característico su color verde debido a la presencia de clorofilas a y b. Dentro de esta división se distinguen dos grupos importantes: Clorofíceas y Carofíceas.

- FEOFITOS: Algas pardas debido a la presencia de pigmento xantofílico (ficoxantina o feofila). Grupos importantes: Ectocarpales, Fucales y Laminariales. Casi todas las algas pardas son marinas y suelen encontrarse en la zona de mareas.

- RODOFITOS: Algas rojas debido a la presencia de ficoeritrina y ficocianina. Tambien poseen xantofilas y carotenos que enmascaran los pigmentos verdes. En el mar son las algas más abundantes.

Los representantes fósiles de los grupos tratados hasta aquí vivian en el agua. En el Devónico, en la transición de los niveles 8 al 9 se produjo el cambio del espacio vital en la "serie principal" de evolución que a partir de entonces se desarrolló en tierra. El período de evolución en el mar representa 9/10 partes de la historia biológica conocida lo cual explica la riqueza de formas, fisiología y órganos reproductores que exhiben las actuales algas marinas frente a los cormófitos. Dos grupos diferentes iniciaron la exploración del medio terrestre: los Briófitos que parecen ser una rama lateral y los Psilófitos, formas talosas a partir de las cuales han evolucionado las plantas vasculares.

BRIOFITOS:

Los briófitos constituyen un grupo aislado, no relacionado de cerca con ningún otro grupo de plantas. Sin embargo, a semejanza de las plantas vasculares primitivas poseen un órgano sexual femenino pluricelular, el arquegonio, en el cual se encuentra la oosfera. Una característica importante de esta división es la falta de elementos conductores. La mayor parte son de vida estrictamente terrestre y crecen en medios húmedos. Tienen capacidad para absorber gran cantidad de agua pero se desecan rápidamente. Su dependencia del agua es "todavía" (evolutivamente hablando) muy fuerte.

El gametófito es la generación más aparente en la mayoría de los Briófitos. Presentan generalmente un vástago central con pequeñas hojitas formadas por una sola capa de células. La fijación al sustrato se consigue por medio de rizoides. Sobre el gametófito se encuentran los órganos sexuales, anteridios y arquegonio. Para la fecundación se requiere agua por ser flagelados los anterozoides. La fase esporofítica es muy reducida.

El esporófito se diferencia habitualmente en un pedúnculo -seta- que sostiene un receptáculo esporígeno -cápsula- que cubierto por una envoltura -caliptra- vive sobre el gametófito. También hay repro-

Géneros actuales: Lycopodium, Selaginella e Isoetes

EQUISETOFITOS

Se trata también de una división antigua cuyos primeros restos fósiles corresponden al Devónico inferior. Como los licopodios, fueron mucho más numerosos y variados a lo largo del Paleozoico que posteriormente. Hoy casi se han extinguido; el género Equisetum es el único representante viviente. Equisetum es un género herbáceo presente en casi todo el mundo. Su tamaño varía entre unos pocos centímetros y casi un metro de altura. La anatomía de estas plantas está especialmente adaptada a las zonas pantanosas (predominantes en el Carbonífero).

PTEROFITOS

Los helechos se diferencian de otros vegetales por sus hojas grandes con aspecto plumoso que en muchos casos presentan el ápice enrollado cuando jóvenes y sus esporangios situados directamente en el envés de las hojas. Las hojas típicas o frondes son pinnado-compuestas. frecuentemente muy divididas. El tallo es relativamente débil.

Hay tres líneas evolutivas dentro de los verdaderos helechos. Una puede estar representada por Ophioglossum o Botrychium pequeñas plantas con una sola hoja y un pedúnculo en el que se situan los esporangios como en una espiga. Otra es característica de las zonas tropicales y está intregada por helechos (como Marattia) robustos, parecidos a pequeños árboles. La tercera, más numerosa, agrupa a los típicos helechos (Filicales). como Polypodium, Adiantum y Pteridium.

ESPERMATOFITOS

La reproducción por semillas puede considerarse la adquisición principal que ha permitido la dominación de las plantas superiores (Gimnospermas y Angiospermas) sobre el resto de las plantas vasculares. El carácter esencial de la reproducción por semillas es el desarrollo parcial de la joven planta (2n) dentro de los tejidos del esporófito madre, como un embrión que después queda en libertad con una buena provisión de alimento almacenado y protegido por una cubierta.

Dentro de las Gimnospermas con fecundación por espermatozoides, pueden distinguirse dos grupos:

1) Pteridospermas y Cycadales que estaban muy desarrolladas en el Carbonífero y el Pérmico. En conjunto representan el eslabón de unión con las Angiospermas. El género Cycas, es un representante viviente de este nivel evolutivo.

2) Las Ginkgoales, el género Ginkgo es un arbol oriundo de China con hojas en forma de abanico. Se utiliza como ornamental en jardines.

Dentro de las Gimnospermas con fecundación por tubo polínico, el grupo vegetal más representativo es el de las Coníferas.

Coníferales:

Ampliamente distribuídas en las zonas templadas, deben su importancia a la utilización forestal de

ducción vegetativa.

Se distinguen tradicionalmente dos clases: Musgos y Hepáticas y un grupo poco conocido, los Antocerotales.

PLANTAS VASCULARES

Hasta hace poco tiempo las plantas con elementos conductores, xilema y floema, se agrupaban en una sola división (Traqueófitos), considerando que esta característica establecía fuertes relaciones entre ellos. Sin embargo, recientemente se han reconocido diferencias importantes que responden a líneas evolutivas separadas desde hace mucho tiempo.

Por ello se han establecido divisiones distintas.

Junto al sistema vascular, otras modificaciones estructurales como la cubierta externa impermeable -cutícula-, la diferenciación en tallo verdadero, hojas y raíces, la alternancia de generaciones en la que el esporófito, independiente, presenta una estructura más complicada que el gametófito, y una elevada relación volumen/superficie, permitieron la vida fuera del agua .

De acuerdo con las dos teorías principales existentes, las plantas vasculares evolucionaron a partir de:

1) Las algas, muy probablemente de antecesores de los Clorófitos.
2) Formas primitivas pertenecientes a los Briófitos (Anthoceros o afines).

En ambos casos la explicación se basa en considerar que durante la evolución la diferenciación del xilema y floema apareció a partir de las células centrales del eje de crecimiento. En el caso de las algas se ha propuesto la idea de que ésta se produjo por adaptación a períodos de sequía estacionales (más o menos largos y similares a las actuales mareas). De todos modos se puede aceptar de forma general que, tanto los Briófitos como las plantas vasculares, evolucionaron a partir de antepasados talófitos. La paleontología ha aportado valiosa información sobre los grupos que establecen la transición entre las algas y los verdaderos cormófitos. Estas formas se agrupan en la división Psilófitos.

PSILOFITOS

Probablemente consituyeron la masa principal de la flora en el Silúrico y Devónico siendo las plantas terrestres más primitivas que se conocen. Una de las formas estudiadas es el génro Rhynia, una pequeña mata afila (sin hojas), semejante a un junco, de medio metro de altura, cuyo cuerpo estaba constituído por un eje erecto, ramificado dicotómicamente y anclado al suelo por un rizoma rastrero.

LICOPODOFITOS

Las plantas de esta división proceden del Devónico o del Cámbrico y en el Carbonífero fueron dominantes. Después, los grandes licopodios arborescentes desaparecieron y el grupo perdió su protagonismo. Morfológicamente destacan los tallos ramificados dicotómicamente y cubiertos por numerosas hojas pequeñas y dispuestas helicoidalmente.

muchas de sus especies. Las hojas son típicamente aciculares o escamosas, generalmente perennes. Un cámbium activo es el responsable del crecimieento secundario que presentan; las células conductoras son de tipo traqueida y se encuentran habitualmente canales resiníferos.

Consituyen un grupo antiguo que existió ya en el Paleozoico superior (Carbonífero, Pérmico).

Generos importantes de este orden, coniferales son: Pinus, Abies, Picea, Larix, Cupressus, Juniperus, Thuja, Cedrus, Sequoia, Araucaria, Taxus, etc.

Las Angiospermas aparecieron en el Cretácico inferior. Constituyen el grupo más importante y rico entre los que integran la flora actual, el más evolucionado y último en aparecer. La adquisición decisiva que determina la aparición de este nivel es el ovario. Los macrosporófilos que soportan a los macrosporangios han sufrido una concrescencia envolviendo a éstos, incluso en el momento de la polinización. Los granos de polen no pueden llegar directamente hasta la ovocélula y germinan en el ápice (estigma) de la hoja protectora (carpelo) formando un tubo polínico. Esta característica es la que da nombre al grupo (angios=receptáculo, esperma=semilla).

El cono de las Gimnospermas se transforma en la flor de las Angiospermas que consta típicamente de una serie de microsporofilos (los estambres) y macrosporófilos (los carpelos) que constituyen el pistilo rodeados generalmente de pétalos y sépalos, formados a partir de estructuras intermedias entre hojas vegetativas y esporófilo. Este cambio parece estar asociado a la sustitución de la polinización anemógama de las Gimnospermas por la entomógama. Sépalos y pétalos sirven como envoltura protectora y tienen un importante papel en la atracción de los insectos polinizadores. A partir del carpelo cerrado que rodea a la ovocélula se origina el fruto. El embrión sólo presenta uno o dos cotiledones. La reducción del gametófito y complicación del esporófito llegan al máximo alcanzado por las plantas vasculares.

El sistema vascular alcanza el más alto grado de especialización. En el xilema hay tráqueas (vasos anchos de paredes delgadas que permiten un transporte eficaz de agua y sales minerales a través de la madera) y fibras que proporcionan rigidez al tallo. En el floema aparecen células anejas sociadas a los tubos cribosos!

Las Angiospermas son básicamente terrestres y sus representantes se encuentran prácticamente en todos los habitats. Su origen no está todavía claro debido a que no se conocen las formas de transición con las Gimnospermas.

Se distinguen dos clases dentro de las Angiospermas, que pueden delimitarse por los siguientes caracteres:

Dicotiledóneas	Monocotiledóneas
Embrión de la semilla con dos cotiledones	Un cotiledón
Raíz principal definida, pivotante	Raíz fasciculada
Haces libero leñosos en un círculo	Haces dispersos
Eustela, dictiostela, cámbium activo	Atactostela, sin cámbium funcional
Hojas con nerviación reticulada (penninervias, palminervias).	Hojas paralelinervias o curvinervias.

Dicotiledóneas

Verticilos florales tetrámeros o pentámeros

Algunos Géneros: Magnolia, Papaver (amapola) Fagus (haya), Castanea(Castaño), Betula(Abedul) Dianthus (clavel), Brassica (col, repollo), Salix (sauce), Rosa (rosal), Pyrus (peral), Malus(manzano), Prisum (guisante), Trifolium(trebol), Daucus(zanahoria), Solanum(patata), Nicotiana (tabaco) etc.

Menocotiledóneas

Verticilos florales trímeros.

Algunos Géneros: Allium(cebolla, ajo), Asparagus (espárrago), Tulipa(tulipán), Iris(lirio), Orchis - (orquídeas), Triticum(trigo), Secale(centeno), Zea (maíz) Sacharum(caña de azucar), Stipa(esparto), Phoenix(palmera datilera), Coccos(cocotero), etc.

3.6.-EL REINO ANIMAL

Tendencias evolutivas:

El carácter pluricelular se consigue por mitosis sucesivas a partir de una célula original, acompañadas, como sabemos, de crecimiento en tamaño de las células resultantes y de diferenciación de las mismas. Esto ocurre en cada generación a partir del cigoto unicelular durante el desarrollo (ontogenia) del individuo, y ocurre también, en una escala mucho más amplia y extendida en el tiempo, durante la historia evolutiva (filogenia) de los aniamles en conjunto.

La idea anterior llevó a Haeckel, a finales del siglo pasado, a enunciar su "ley biogenética" según - la cual los seres durante su desarrollo embrionario no hacen sino recapitular su historia filogenética anterior, Así, las larvas de los anfibios se asemejan a los peces, y las de muchos insectos a gusanos segmentados. Los embriones de mamíferos tienen hendiduras branquiales y los humanos una cola rudimentaria. Pueden aducirse multitud de casos más, pero hay también excepciones y ejemplos de lo contrario, es decir, de caracteres embrionarios que pasan al estado adulto de grupos más evolucionados. Las hipótesis de Haeckel no deben pues generalizarse hoy día, pero lo anterior nos ilustra en todo caso sobre el valor de los caracteres embrionarios o larvarios, y sobre la importancia de conocer las fases del desarrollo para comprender los aspectos evolutivos.

La complicación orgánica en el reino animal llega bastante más lejos que en el vegetal, pues mientras las plantas sólo alcanzan el nivel órgano (raíz y vástago) en los animales se dan casi siempre - aparatos o sistemas (digestivo, circulatorio, respiratorio, excretor, etc.). Sólo algunos grupos inferiores no pasan de tener tejidos (Mesozoa, Porifera) u órganos (Coelenterata, Ctenophora).

El incremento de tamaño lleva en sí la necesidad de un aumento correlativo en superficie, (superficie que debe ser interna y que se empieza a desarrollar desde las primeras fases del desarrollo émbrionario. En el estado llamado "gástrula" -con dos capas celulares y una cavidad interna que comunica al exterior por un sólo orificio- se quedan p. ej. las esponjas, celentéreos y algunos gusanos, mientras todos los demás animales generan al menos otra capa entre las dos anteriores, y una nueva cavidad -el celoma- donde luego se encontrarán la mayoría de los órganos y aparatos. El orificio primitivo puede dar lugar a la boca (Protostomata) o al ano (Deuterostomata).

Una forma de aumentar el tamaño y de conseguir complicación orgánica es por repetición de unidades

iguales, las cuales pueden disponerse a lo largo de un eje (metámeros) o alrededor de un eje (antímeros). Ejemplo típico de lo primero son los anélidos y miriápodos. De lo segundo, los equinodermos. La repetición afecta también al interior del cuerpo; cada segmento o metámero de un anélido, dispone p. ej. de un par de ganglios, por un par de nefridios, etc.. La larva de un anélido (o de un equinodermo) tiene un sólo segmento, y la metamerización (o antimerización) ocurre durante el desarrollo subsiguiente.

La necesidad de buscar alimento lleva a la mayoría de los animales a ser móviles y tener en consecuencia una simetría bilateral (llamada también dorsiventral, con un sólo plano de simetría). Hay algunos, sin embargo, que mantienen su cuerpo fijo, y mueven el medio acuoso para atraer las partículas alimenticias. En ellos, la simetría radiada es pocas veces perfecta (algo parecido a lo que ocurre en las plantas) siendo el grupo animal que más típicamente la presenta el de los celentéreos. Los ctenóforos en cambio son más bien birradiales (dos planos de simetría) y las esponjas tienen casi siempre formas irregulares. Los equinodermos tienen ciertos órganos impares que hacen su cuerpo - en realidad bilateral. Los animales que son fijos tienen por lo común formas larvarias móviles.

La Mayoría de los grandes grupos animales son acuáticos. De los veintitres tipos en que puede dividirse en principio el reino animal, ninguno puede considerarse formado exclusivamente por seres terrestres y en cambio muchos de ellos contienen exclusivamente organismos acuáticos. Si la vida apareció en el agua, tal y como hoy creemos, este hecho no es en absoluto de extrañar. Nos ilustra - simplemente, que la adaptación al medio terrestre ha sido en realidad algo privativo de unos cuantos grupos. De ellos, los cordados y artrópodos son sin duda los que han alcanzado un mayor éxito, los primeros llegando a la generación de organismos pensantes y los segundos dando paso a un grupo, el de los insectos, que constituye hoy por hoy las tres cuartas partes de las especies animales vivientes. También lo han hecho los moluscos (a través de una parte de los gasterópodos) y parcialmente alguno de los grupos que conjuntamente denominamos "gusanos".

La adaptación a tierra supone profundas modificaciones que independientemente han debido adquirir cada uno de los grupos mencionados. Las principales podrían resumirse así:

1) Desarrollo de un sistema respiratorio capaz de utilizar el oxígeno atmosférico. Las branquias son sustituídas por tráqueas o por pulmones.

2) Sustitución de la fecundación externa por fecundación interna.

3) Paso de la condición amonotélica a la ureotélica o uricotélica y evolución del aparato excretor para perfeccionar la osmorregulación.

4) Adaptaciones en relación con el mayor peso aparente del cuerpo y con la locomoción terrestre.

Estos y otros pasos quedan perfectamente ejemplificados en la metamorfosis de los anfibios, si bien fueron necesarios muchos millones de años para consumarlos evolutivamente. Recordemos que las plantas superiores han dado un paso similar, con adaptaciones del mismo tipo en lo referente a respiración y fecundación. Todo ello parece ocurrió hacia el periodo Silúrico en la era Primaria.

La tendencia a un control cada vez más perfecto de las condiciones físicas en que se realizan las funciones vitales, culmina con la regulación de la temperatura que efectúan los animales de sangre caliente (mamíferos, aves y algunos reptiles fósiles). La circulación sanguínea se hace en ellos mas o me

nos superficial según la temperatura, disponiéndose de un centro hipotalámico que funciona como un termostato.

Tipos animales.

A cada una de las grandes subdivisiones de un reino se denomina tipo o "phylum" (plural phyla). Siguiendo aproximadamente a Weisz (1971), en la tabla I se enumerán los veintitrés tipos en que moderñamente se divide el reino animal.

Tabla I. Tipos de animales pluricelulares

sin cavidad digestiva					MESOZOA
con cavidad digestiva (Metazoa)	con sólo tejidos (Parazoa)				PORIFERA (Poríferos o Espongiarios)
	con más tejidos (Eumetazoa)	con sólo órganos; simetría radiada (Radiata)			COELENTERATA (Celentereos)
					CTENOPHORA
		con aparatos y sistemas; simetría bilateral (Bilateria)	sin celoma (Acoelomata)		PLATYHELMINTHES (Platelmintos o gusanos planos)
					NEMERTINEA
			celoma fragmentario (Pseudocoelomata)		ASCHELMINTHES (Rotíferos y Nemátodos)
					ACANTHOCEPHALA
					ENTOPROCTA
			con celoma (Coelomata)	Protostomata	PHORONIDA
					ECTOPROCTA
					BRACHIOPODA
					SIPUNCULOIDEA
					ANNELIDA (gusanos segmentados)
					ECHIUROIDEA
					MOLLUSCA (moluscos)
					ONCHOPODA
					ARTHROPODA (Atrópodas: Incluye Crustáceos, Miriapodos, Arácnidos e Insectos.
				Deuterostomata	CHAETOGNATHA
					POGONOPHORA
					HEMICHORDATA
					ECHINODERMATA (Equinodermos)
					CHORDATA (Cordados: Dos subtipos Procordados y Vertebrados).

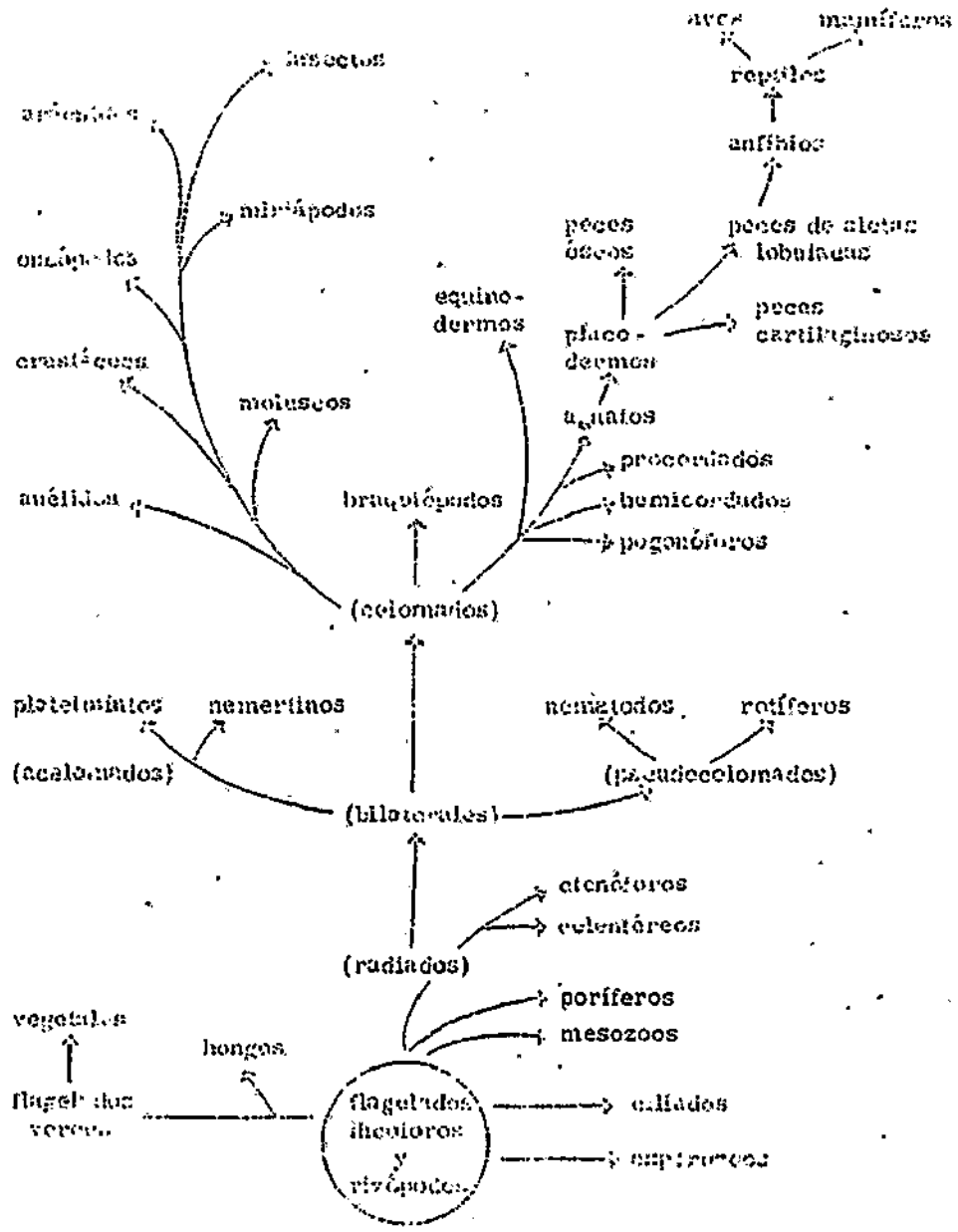


Figura 3.6.1.- Relaciones filogenéticas probables entre los principales grupos de animales.

GOMEZ CAMPO, C. y AYERBE MATEO - SAGASTA, L. (1977): La Célula - Monografía de la Escuela T.S. de Ingenieros Agrónomos nº 50.

GOMEZ CAMPO, C. (1978) : Principios de Zoología-Monografía de la Escuela T.S. de Ingenieros Agrónomos nº53.

HERNANDEZ-BERMEJO, J.E., CLEMENTE-MUÑOZ, M. y Varios (1978): Principios de Botánica. - Monografía de la Escuela T.S. de Ingenieros Agrónomos nº 54.

TEMA 3

CONCEPTOS BASICOS DE ECOLOGIA

ELABORADO POR:

M. CLEMENTE MUÑOZ

J. E. HERNANDEZ BERMEJO

EN BASE A APUNTES DE CLASE DE:

M. CLEMENTE

E. DEWISME

J. HAERING

J. E. HERNANDEZ BERMEJO

M. IBAÑEZ

J. M. ORMAZABAL

INDICE

Pág.

1.- INTRODUCCION: CONCEPTO, OBJETO Y DESARROLLO DE LA ECOLOGIA 1

2.- EL ECOSISTEMA 3

3.- RELACIONES INTRA E INTER ESPECIFICAS. INFLUENCIA DEL MEDIO 6

4.- ESTRUCTURA DEL ECOSISTEMA 14

5.- DINAMICA DEL ECOSISTEMA 22

6.- BIOGEOGRAFIA. DISTRIBUCION Y TIPOS DE ECOSISTEMAS 41

El término "ecología" que hoy hace indudablemente referencia a una ciencia biológica de carácter integrador, cuya unidad objeto de estudio viene definida por el ecosistema y que ha tenido un desarrollo y aplicaciones multidisciplinares, es no obstante entendida y utilizada en muchas ocasiones, lamentablemente, de formas muy alejadas de su real ámbito científico. Efectivamente, las personas, grupos y actividades sociales y culturales, medios de difusión e incluso ideologías que hacen uso de la voz ecología son hoy día extremadamente numerosas y diversas. E igualmente numerosas resultan las ocasiones en que se responsabiliza o involucra al ecologo con problemas y cuestiones de actualidad procedentes casi siempre de los errores, defectos o imprecisiones del desarrollo económico y demográfico experimentados en los dos últimos siglos.

La Ecología nació como un quehacer más bien naturalista, ligado al trabajo de numerosos botánicos zoólogos y biólogos pioneros como el mismo DARWIN que ya en su "Origen de las especies" anotaba observaciones relacionadas con la interacción entre el medio ambiente y los seres vivos. El biólogo aleman HAECKEL fué el primero en introducir la voz ecología ("oecologie"). Literalmente significa "ciencia del habitat". DAJOZ(1971) la define como "ciencia que estudia las condiciones de existencia de los seres vivos y las interacciones de toda naturaleza que existen entre éstos y su medio". Esta última acepción centra ya bastante más su radio de acción, pero todavía queda algo confusa al no aludir concretamente al nivel o niveles de organización objeto de su estudio. La Química, Citología, Histología y Sistemática, limitan de forma mas o menos precisa su atención al nivel del átomo y molécula, célula, tejido y especie respectivamente. De la misma forma la Ecología requiere tan solo, para buscar su definición, encontrar un modelo, una unidad de observación, y ésta puede ser el ecosistema.

Así, como "ciencia de los sistemas ecológicos" se configura hoy día la Ecología. Aquí podría acabar el problema de la definición de su ámbito de proyección científica, si no fuera porque el ecólogo no utiliza siempre esta unidad como modelo de su trabajo. Existen además ciertos inconvenientes relativos a la fuerte abstracción que se precisa realizar a veces para definir el ecosistema.

Por otra parte, la metodología del ecólogo, en periodo de crecimiento y matización, procede en ocasiones de otras ciencias más o menos afines. Además, el carácter multidisciplinario de la Ecología, distrae a veces la atención hacia un sinnúmero de temas (Botánica, Zoología, Fisiología, Demografía, Climática, ...) provocando casi siempre vinculaciones más estrechas por parte del investigador hacia alguno de estos aspectos. Finalmente, la reciente sensibilización del gran público en la necesidad de conservar y administrar racionalmente los recursos naturales y la creciente incidencia de problemas ambientales (contaminación, eutrofización, urbanismo....) sobre la sociedad, ha contribuido a despistar y provocar una cierta influencia de usos, aplicaciones e intereses en torno a la Ecología, contribuyendo a la perturbación del auténtico quehacer científico y limitándole las más de las veces a figurar sólo como un aspecto demagógico en todo tipo de estudios, informes, discursos, proyectos y planes de desarrollo.

Aplicaciones

El campo de aplicaciones de la Ecología moderna es muy amplio. Realmente, cualquier actividad humana relacionada con la administración, explotación y/o conservación de los recursos naturales encuentra parte de las respuestas a sus problemas, límites y orientación dentro de esta Ciencia. La

administración de bancos de pesca, el estudio de los efectos de la contaminación sobre las especies y sistemas biológicos, la explotación de los recursos agrícolas, forestales y ganaderos, la rentabilización del flujo de nergía y materiales en los agrosistemas, la ordenación del territorio, la conservación de los recursos hídricos de las tierras emergentes, la protección de los ecosistemas y de las especies biológicas, la valoración de la naturaleza en estudios técnicos y proyectos, el análisis y satisfacción de la demanda recreativa de un grupo social, el estudio del impacto ambiental provocado por una industria o cualquier tipo de transformación impuesta al medio, etc, etc, están entre ellas.

Ahora bien, si unimos a tan amplio y multidisciplinar campo de aplicaciones ese cierto sesgo que casi todo ecólogo suele manifestar provocado por el dominio del campo de la ciencia concreto a través del cual accedió hasta la ecología (en unos casos la Botánica o la Zoología, en otros la Oceanografía, en otros el dominio de las técnicas de análisis multivariable, en otros casos incluso la especialización en alguna rama de la Ingeniería, pero casi siempre a través del dominio de alguna taxocenosis en particular) es fácil comprender la habitual dispersión y heterogeneidad de formas de entender, desarrollar y proyectar unos principios teóricos que medular y básicamente podrían ser y son, los mismos para todos : una teoría de sistemas aplicada a la naturaleza.

La escueta definición de "ciencia de los ecosistemas" no siempre coincide con el modelo de trabajo del ecólogo, ya que coexisten todavía dos puntos de vista complementarios: el Autoecológico es decir el que se ocupa del estudio de las relaciones entre la especie y su medio (factores limitantes, dinámica de poblaciones, condiciones óptimas de desarrollo, distribución biogeográfica) y el Sinecológico más estrictamente relacionado con el nivel de organización en ecosistemas*.

Qué entendemos por ecosistema? De antemano y como tal sistema, está formado por un conjunto de entidades interaccionantes. Tiene además la cualidad de ser autorregulable, es decir provisto de mecanismos de retroalimentación, capaz de recibir información exterior, procesarla y elaborar una respuesta. Esta última puede modificar las condiciones exógenas que rodean el sistema provocando una nueva recepción de información (retroalimentación) y por consiguiente una ulterior respuesta. El ecosistema está por lo tanto sometido a una dinámica continua de entradas y salidas de información que se traducen en un proceso contínuo de cambios a lo largo del tiempo y de ciclos anuales, nictemerales y geológicos. Son además sistemas abiertos, es decir con canales de información hacia otros sistemas adyacentes. Sus elementos constituyentes son tanto de naturaleza biótica (especies de animales, vegetales y microorganismos) como abiótica (factores climatológicos, litológicos, geomorfológicos, edafológicos...) Estos condicionan y caracterizan a los elementos bióticos. Entre ellos aparecen interrelaciones de variado índole.

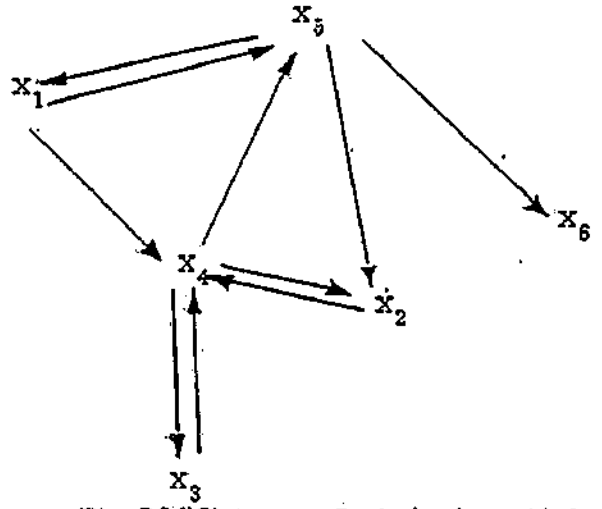


Fig. 3.2.1 Sistema : Conjunto de entidades interaccionantes.

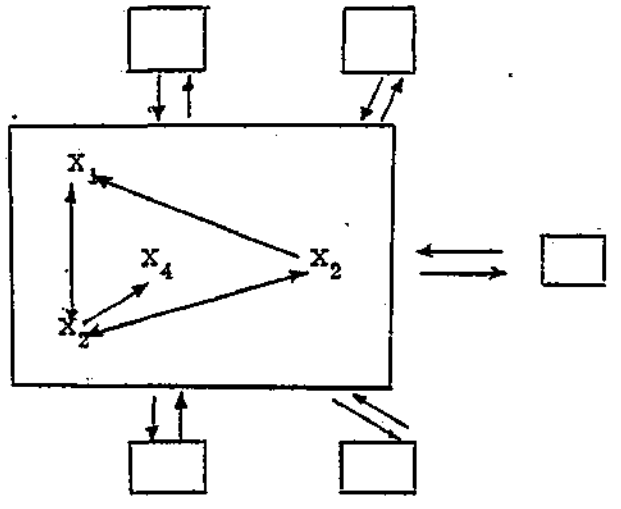


Fig. 3.2.2 Sistema abierto

El ecosistema así definido es susceptible de ser manejado a través de una serie de procedimientos ma

- - - - - - - - - - - - - - - - -

* Dentro de la habitual jerarquización en niveles de complejidad: quark, partícula subatómica, átomo, molécula, macromolécula, célula, tejido, órgano, aparato y sistema, individuo, población, comunidad o biocenosis, ecosistema, y Biosfera, los cuatro últimos pertenecen al dominio de la Ecología. La población (conjunto de individuos de la misma especie que mantienen un alto grado de conexión en el espacio y en el tiempo) es el elemento de trabajo de varias ciencias biológicas como la Genética, la Ecología y Demografía.

temáticos y automáticos (teoría de graphos, análisis multivariable, cálculo matricial...) En teoría - pueden simularse alteraciones o transformaciones de cualquier naturaleza, que afecten a determinada especie o factor ambiental, prediciéndose así las repercusiones subsiguientes en el resto del sistema. Pero en la práctica ésto representa bastantes más problemas.

Si denominamos biotopo al conjunto de factores abióticos y comunidad o biocenosis a las especies -- biológicas constituyentes, conseguimos la escueta y tradicional expresion de:

ECOSISTEMA = BIOTOPO + BIOCENOSIS

Restricciones al concepto de ecosistema:

Es preciso no olvidar demasiado que el ecosistema, aunque obedece a la existencia de una realidad tangible, es al fín y al cabo una abstración que el ecólogo realiza a partir de unas entidades naturales interaccionantes. Y ésto implica problemas como:

a) Casi siempre es posible distinguir más ecosistemas de menor categoría dentro del estudiado. Dentro de un bosque, por ejemplo, pueden describirse un elevado número de ecosistemas: en el suelo - forestal, corteza de los árboles, claros cubiertos de pratenses, copas de los árboles, etc. Incluso una simple hoja, un simple fragmento de la piel de un mamífero, o la panza de un rumiante, pueden ser considerados, representados y sometidos al análisis como ecosistemas.

b) Existe siempre un intercambio de materiales e información con los sistemas adyacentes, que implica una cierta dependencia. Por ejemplo, un ecosistema lacustre depende de los aportes de agua y materiales procedentes de los ríos y arroyos que en él vierten, y de los acuíferos que alimentan su caudal. Depende también de las características geomorfológicas de la cuenca, del grado y tipo de cubertura forestal y herbácea que cubre las márgenes y laderas, etc. A veces, el intercambio es tan intenso y constante que el término ecosistema puede ser aplicado más bien a un proceso que a una entidad material persistente (estuarios, cultivos sincrónicos, cultivo agrícola intensivo, etc).

c) Los límites del ecosistema no están siempre bien definidos, existiendo zonas de transición (ecotonos) hacia los sistemas adyacentes.

Principales fases del análisis de ecosistemas

a) Fase de limitación y cartografía. Definición de las unidades o subsistemas a considerar, conocimiento de su distribución, clasificación y denominación del ecosistema estudiado.

b) Fase de análisis estructural. Estudio de las especies presentes, factores ambientales influyentes, grado de estructuración, organización espacial, estructura fisionómica, diversidad, relaciones inter-específicas. etc.

c) Fase de análisis de la dinamicidad del sistema. Estudio de los ciclos de reciclaje de nutrientes, estacionalidad, ritmos biológicos, dinámica de las poblaciones, flujos de energía, sucesión, etc.

d) Síntesis de la información obtenida. Coordinación y dependencia entre los elementos del sistema. Ensamblaje de datos.

e) Modelación matemática. Elección y elaboración de un modelo matemático que se aproxime al máximo al esquema de funcionamiento obtenido en d).

f) Simulación y predicción. Fase final: utilización del modelo matemático. Simulación mediante introducción de nuevas variables y situaciones. Predicción de consecuencias. Aplicaciones prácticas.

A las dos últimas fases se llega con cierta dificultad, puesto que se requiere para ello un importante almacén de información básica sobre la distribución, estructura y dinámica del sistema que cuesta mucho obtener de la naturaleza, No obstante, se llega en ocasiones a simplificaciones que permiten simular matemáticamente determinados procesos naturales. Esto ocurre por ejemplo en el caso de las interacciones presa-predator sobre las que es posible predecir el régimen de fluctuación de sus poblaciones.

Ejemplos de ecosistemas:

Después de lo dicho es evidente que los ejemplo de posibles ecosistemas pueden ser absolutamente dispares: un bosque, un modelo concreto de explotación agrícola, un embalse, el horizonte orgánico del suelo, la panza de un rumiante, un acuario, una corteza de árbol, una ciudad, etc, todos ellos son sistemas ecológicos con tal que encontremos un conjunto de entidades interacciones, parte de las cuales sean de naturaleza biológica y cuyo conjunto esté sometido a un proceso temporal de características generalizables como resultado de dichas interacciones.

Cada proyección práctica concreta de la ecología eligirá un cierto ámbito de difinición de ecosistemas. Los técnicos que se ocupan de la planificación física, ordenación integral del medio, estudios de impacto ambiental, etc, suelen emplear el concepto de unidad ambiental ("land system" o "land unit" de CHRISTIAN, 1958) que equivale en alguna forma a una cierta forma de sectorización del medio con criterios más o menos próximos a los que orientan el concepto y definición de ecosistemas.

Comentaremos en este capítulo los factores medioambientales que más poderosamente actúan sobre - los seres vivos, y las relaciones que aparecen, tanto al nivel intraespecífico, como entre dos o más especies entre sí.

3.1.- SOCIOLOGIA DE LA ESPECIE Y DEMOGRAFIA

Como una expresión más de la ley de complejidad creciente en el proceso evolutivo, aparece la tendencia hacia el asociacionismo ya a nivel celular. Organismos precarióticos como bacterias y algas cianofíceas exploraron este camino en el amanecer de la evolución. Igualmente primitiva fué también la solución de las estructuras cenocíticas (plasmodios fúngicos, por ejemplo) imponiendo a sus elementos una mayor comunicación y pérdida de los límites monocelulares. Diversos grupos de algas comenzaron más tarde a explorar la nueva posibilidad de la organización policelular (filamentos, láminas). !Descubrimiento del nivel tisular! más tarde, y con el sucesivo perfeccionamiento de metazoos y metafitas llega a olvidarse la personalidad celular, y en su lugar, los nuevos organismos pluricelulares vuelven a manifestar, ahora a un nivel complejidad-consciencia mucho mayor, la llamada del asociacionismo. Entre los dos grandes reinos, vegetal, y animal, será este segundo el que más desarrolle y perfeccione su organización social.

El nivel más simple y menos sofisticado es el de la población . Como tal entendemos al conjunto de individuos de la misma especie que coinciden de forma suficientemente conexa en el espacio, tiempo (ciclo vital) y función (nicho ecológico ocupado). La población vendrá siempre caracterizada por una - cierta estructura nacida de un cierto modelo de distribución espacial (Fig. 3.3.1) y de unas determinadas frecuencias de edades (Fig. 3.3.3) . También manifestará una dinámica particular, consecuencia de unas tasas de natalidad y mortalidad específicas, de la incidencia de un enorme conjunto de factores ambientales e interespecíficos (parásitos, depredadores, ciclos estacionales, ritmos...) y - del conjunto de formas de reproducción y diáspora que la especie particularmente utilice.

La demografía, ciencia que estudia la dinámica de las poblaciones es sin duda un tema de gran interés para biólogos, agrónomos, sociólogos, ecólogos y cuantos trabajan con elementos biológicos susceptibles de destrucción y renovación.

Las poblaciones crecerían de forma exponencial si no existieran una serie de factores retardantes - como parásitos, depredadores, especies competidoras, acontecimientos perturbadores ambientales, y aquellos relacionados con la naturaleza finita de los nutrientes, espacio y energía que la especie explota y/o utiliza. En consecuencia, la teórica curva exponencial(1), se transforma en otra de tipo logístico (2).

$$(1)\ \frac{dN}{dt} = rN \Rightarrow N_t = N_0\, e^{rt}, \qquad (2)\ \frac{dN}{dt} = rN\,\frac{(k-N)}{k} \Rightarrow N_t = \frac{k}{1 + e^{b-rt}}$$

Las constantes r y k de estas ecuaciones equivalen la primera de ellas a una tasa de renovación y la segunda a un límite del crecimiento de la población por el entorno y que es el resultado del fenómeno de adaptación de la especie a su medio. Atendiendo a estos dos conceptos se habla de especies con - estrategia r y de especies con estrategia k. Las primeras son aquellas que utilizan como forma de supervivencia una táctica demográfica consistente en producir una elevada descendencia independientemente de que una buena parte de la misma alcance o no la etapa reproductiva como consecuencia de una -

intensa mortalidad (predatores, recursos alimenticios escasos, competencia, etc. pueden ser las causas). Las malas hierbas de los cultivos y muchas especies de roedores pueden servirnos de ejemplos de especies que explotan esta solución. Las segundas prefieren disminuir el riesgo de predación y en general el de mortaliad, a base de producir una pequeña descendencia concentrando las energías empleadas a este fín en la preparación de pocos individuos, difíciles de capturar por su baja frecuencia o por su mejor dotación y preparación para la defensa.

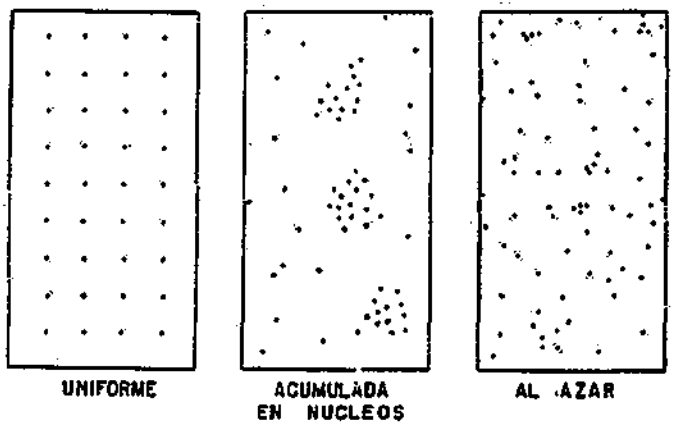


Fig.: 3.3.1 - Diferentes estructuras de distribución espacial de una población

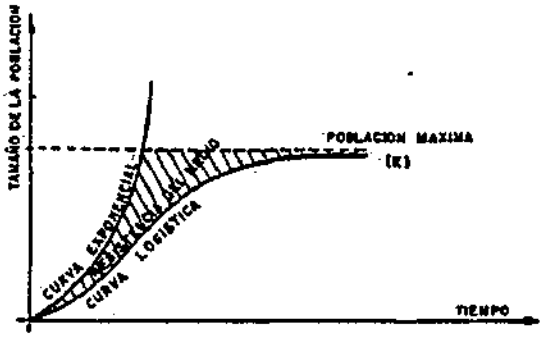


Fig.: 3.3.2 - Curvas teóricas de crecimiento de una población

Fig.: 3.3.3 - Estructura por edades de A) población en expansión, B) población estable, C) población decreciente (BODENNAIMER, 1.956 in KORMONDY, 1973).

Un término muy tradicionalmente utilizado en Ecología y Etología Animal es el de gregaria. Implica un paso más en la organización interior de una población. No hay todavía diferenciación morfo o fisiológica entre los individuos, pero ya se mueven juntos, en ocasiones incluso guiados por algún elemento de la población que por su comportamiento o características (sexuales, fortaleza, etc.) ha conseguido adquirir el liderazgo. Entre los vertebrados se presenta frecuentemente este modelo de estructuración (manadas de herbívoros, bancos de peces, bandadas de aves, etc.)

Cuando el asociacionismo intraespecífico implica también diferenciación morfo o fisiológica en los individuos, se habla de colonias (frecuente p.e. en Celentéreos, Isópteros, Himenópteros). No obstante debemos advertir de la usual utilización confusa de este término, que se aplica a veces a diferentes agrupaciones mono o pluriespecíficas, con o sin diferenciación, e incluso para denominar a un individuo pluricelular (colonias de Volvox, Gonium, Pediastrum, etc.) La colonia en sentido estricto debe incluir la aparición de diversidad de funciones, trabajo, rango o clases sociales, etc.

Es posible que el modelo de organización más elevado de la población sea el de familia. Su existencia se justifica en la necesidad de continuar el proceso de educación y formación de las crías con posterioridad a su nacimiento. Evidentemente surge esta necesidad en las especies más evolucionadas, es decir, en los vertebrados, y de forma más acentuada en los mamíferos. Suele ir complementada con una cierta privatización territorial (nidos, guaridas, madrigueras, ámbitos de caza...). Superados los niveles génico y cromosómico en la transmisión de la información y resultando incapaz el proceso de gestación para suministrar toda la enseñanza indispensable para el normal desenolvimiento futuro del individuo, se hace precisa una labor de educación y crianza hasta el momento en que el animal es ya capaz de valerse por sí solo. En el caso de la especie humana, al aumentar todavía más la "cantidad de información total" a recibir, la familia resultó a partir de un cierto momento de su historia, cada véz más insuficiente para suministrarla, y poco a poco fueron apreciendo soluciones complementarias en forma de auténticos cromosomas noosféricos: el lenguaje escrito, la educación en centros especializados y el reciclaje postformativo entre otros, que tienden lentamente a desplazar, al menos desde este punto de vista, la función atribuída a la primitiva familia mamífera.

3.2. INFLUENCIA DE LOS FACTORES ABIOTICOS

La estrecha dependencia entre el ser vivo y el medio ambiente es la causa de aparición de diferentes áreas de distribución de las especies biológicas, consecuencia de la combinación multivariable de un gran conjunto de factores abióticos limitantes relativos a la topografía, naturaleza física y química del suelo, climatología , posición geográfica, etc. Hemos resumido en la figura nº 3.3.4 los principales factores ambientales que inciden sobre las especies vegetales y animales, y por lo tanto sobre las comunidades por ellas formadas. Es muy difícil ser exhaustivos en este tema y por lo tanto es muy posible que al lector se le ocurran algunos factores más. Por otra parte, las especies pueden ser más o menos "sordas" hacia cada factor en particular, en función del tipo e intensidad de la adaptación experimentada. Hay un amplio conjunto de prefijos, sufijos y calificativos para denominar la presencia, ausencia y signo de tales influencias, se habla por ejemplo de especies "esteno-" ó "euri-" , "-fugas", ó "-filas", indiferentes o dependientes, etc. Veamos algunos casos:

Entre los vegetales, la jara (Cistus ladanifer) es acidófila y calcífuga, mientas que el espliego (Lavandula spica) es calcófila, y dentro de este último género, el cantueso (Lavandula stoechas ssp. pedundulata) es acidófila. La encina (Quercus ilex) es considerada generalmente como indiferente edáfica.

Entre los animales, el mejillón (Mytilus edulis) es eurihalino, el sapo (Bufo bufo) es euritermo -su -

área de distribución se extiende desde los 65º lat. N. hasta el África Septentrional, llegando en altitud hasta más de los 2.200 m.-. Muchos crustáceos marinos polares y Colémbolos nivales de las -- altas montañas son estenotermos psicrófilos. Entre los Protozoarios Tecamebinos hay especies calcícolas y calcífugas. El abejorro, a pesar de ser un insecto polífago es relativamente estenófago, pues to que utiliza muy preferentemente unas cuantas especies vegetales muy concretas como el Taraxacum dens-leonis y la Achillea millefolium.

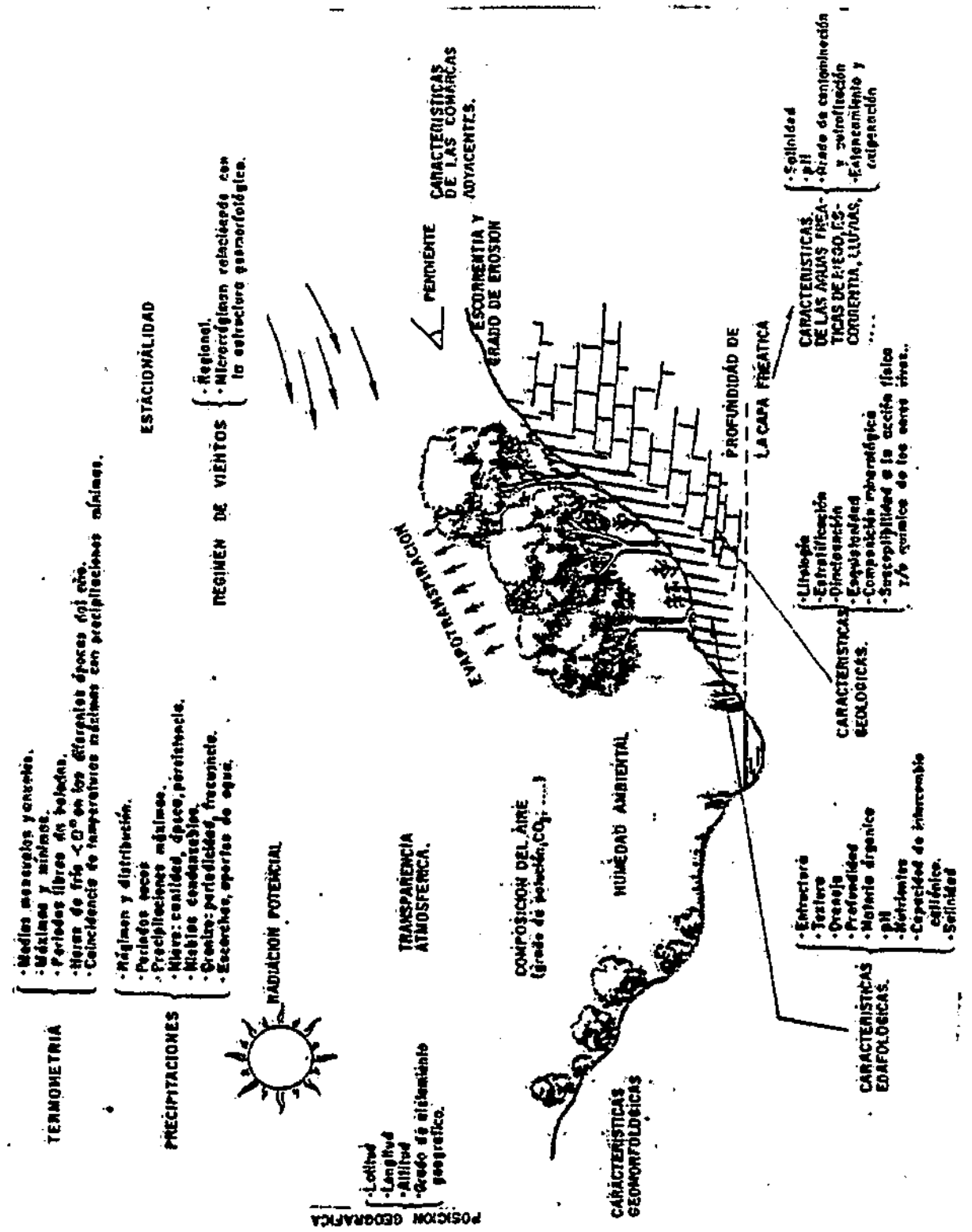


Fig. 3.3.4.- Principales factores ambientales que actúan sobre las comunidades y especies biológicas.

3.3. RELACIONES INTRESPECIFICAS

Cualquier esquema dedicado a sintetizar dogmáticamente las relaciones existentes entre las diferentes especies de un ecosistema está irremediablemente condenado al fracaso, habida cuenta de la complejísima variedad de encuentros interespecíficos y la amplia gama de intensidades con que éstos pueden producirse. Dos especies pueden interaccionar en diferentes ámbitos: trófico(predación, parasitismo, químico (alelopatía, toxicidades defensivas), culturales (competencia por refugios, uso conjunto de madrigueras y nidos, utilización de pistas y rastros), históricos (transformación del medio producida por las fases anteriores de la sucesión), condicionamiento ambiental (microclima creado por las especies frondosas sobre el sotobosque), etc.

Por otra parte, en el uso y aplicación de los tradicionales términos de parasitismo, simbiosis y conceptos parecidos, son frecuentes dos errores:

a) el maniqueismo, aderezado incluso con una cierta dosis de antropocentrismo, consistente en buscar las especies "buenas" y "malas", "beneficiadas" y "perjudicadas", "útiles" e "inútiles". Con este punto de vista el parásito es siempre el organismo malo y toda acción del hombre conducente a su destrucción es buena para la Naturaleza o al menos para el mismo hombre. Las especies simbióticas resultan más simpáticas puesto que han encontrado por medio de la convivencia un beneficio cooperativista. Las especies depredadoras son perversas y su eliminación significa simpre un gran bien para las depredadas. Tópicos como los precedentes o similares, encuentran campo abonado para su expansión en las, por desgracia frecuentes, interpretaciones fáciles y ligeras de la Naturaleza.

b) El extremismo en la clasificación de las relaciones, junto con su simplificación en unos cuantos tipos. De esta forma, una especie sólo puede ser parásita o parasitada, depredada o predatora, etc. En las comunidades naturales aparecen, muy por el contrario, comportamientos mixtos y graduales. Además si la especie resulta o no perjudicada por un tipo concreto de interacción es algo difícil de establecer apriorísticamente. Por ejemplo, puede ocurrir que una especie vegetal aparentemente "víctima" de un herbívoro necesite para su reproducción precisamente ser comida por el animal, el cual, después de digerir la pulpa de sus frutos deposita dentro de sus deyecciones las semillas del vegetal tras un tratamiento químico recibido a lo largo del tracto digestivo, indispensable para su germinación, e incluso con la ventaja del abono orgánico que la deyección significa para el momento en que la plántula comience a desarrollarse.

En resumen, el equilibrio del ecosistema requiere la existencia de todo tipo de relaciones, puesto que a él se llega a través de la presencia de unos límites de crecimiento para cada población presente, aparecidos en virtud de un amplio conjunto de factores ambientales y bióticos. La adaptación simultánea de las especies dentro de la comunidad, a lo largo de la sucesión provoca la aparición de diferentes modelos de estrategia para explotar las especies útiles y adaptarse o defenderse de las perjudiciales.

A pesar de las comentadas dificultades, intentaremos sintetizar las relaciones interespecíficas más habituales mediante un esquema basado en E.P. ODUM con pequeñas modificaciones. El resultado de la interacción se señala con un + si la especie resulta beneficiada, con − en caso contrario, y con 0 si resulta nula.

	especie A		especie B	
NEUTRALISMO	0		0	
COMENSALISMO	0		+	
AMENSALISMO	0		−	
PROTOCOOPERACION	+		+	
MUTUALISMO	+		+	
SIMBIOSIS	+		+	
PARASITISMO	+	(parásito)	−	(hospedante)
DEPREDACION	+	(depredador)	−	(presa)
COMPETENCIA	−		−	

El neutralismo equivale a la no interacción; dentro de una misma comunidad, cuanto más disjuntos son los nichos ocupados por dos especies, más cercanas están de esta situación.

En el comensalismo, una de las especies -comensal- aprovecha los sobrantes del alimento de la otra -patrón-. En ciertos casos, el comensal utiliza productos procedentes de la secrección, descamación y mudas del patrón. Entre los Artrópodos se encuentran abundantísimos ejemplos de esta interacción: especies que actúan en madrigueras y nidos de aves y mamíferos, sobre el cuerpo de moluscos, coexistiendo juntos en termiteros y hormigueros, etc.

El amensalismo en sentido estricto es un tipo de relación relativamente difícil de encontrar en la naturaleza. Quizás puedan valer como ejemplo muchas de las especies vegetales que producen substancias alelopáticas (antigerminantes, inhibidores del crecimiento, etc), pero es muy discutible el que la planta secretora no salga beneficiada de algún modo, siempre a través de la eliminación de especies competidoras. Es posible también que el mayor ejemplo de amensalismo de todo el proceso histórico de la Biosfera lo esté interpretando la especie humana a través de su actuación sobre la Naturaleza, ya que muchas de las alteraciones ecológicas y eliminación de especies, provocadas por ella, no han significado provecho alguno para sí misma.

Protocooperación, mutualismo y simbiosis pueden entenderse como tres escalones de obligatoriedad y dependencia en la interacción establecida entre dos especies, de la cual ambas salen beneficiadas. Este criterio no pretende ser en modo alguno pragmático en vista de los gradientes continuos en la intensidad de la relación que se encuentran habitualmente en la Naturaleza.

De esta forma, la protocooperación aparecería en todos aquellos casos en que las especies interaccionan facultativamente : pueden vivir perfectamente por separado, pero si entran en contacto, resul

tan favorecidas. La diseminación endozoica de los frutos y semillas favorece tanto al vegetal como al herbívoro. El cultivo agrícola, p.e. de cereales, por parte del hombre también podría entenderse así.

El mutualismo sería entonces un paso intermedio hacia la indispensabilidad de la interacción. Las micorrizas endótrofas (micelios de hongos que viven en asociación con las raices de diferentes especies de Gimno y Angiospermas) o las bacterias nitrofijadoras que suministran nitrógeno en forma iónica a las leguminosas, tras su fijacion a partir de N_2 atmosférico, pueden entenderse como mutualismo. - No obstante conviene advertir que muchos autores no distinguen entre simbiosis y mutualismo.

La simbiosis implicaría por fín una obligatoriedad total en la asociación establecida. Así, los animales que son capaces de alimentarse de celulosa lo consiguen gracias a la indispensable colaboración - de microorganismos capaces de producir celulasa, que viven en su aparato digestivo. Esto ocurre entre las termitas y ciertos flagelados intestinales, o entre los rumiantes y la fauna protozoaria de panza. Casi todos los animales incluido el hombre precisan de una flora bacteriana intestinal para la digestión de una gran parte de las macromoléculas. Indudablemente y como ya se ha comentado, toda - catalogación es problemática en la Naturaleza, y no ha de ser distinto en este tema. El caso más típico y repetidamente citado como ejemplo de simbiosis es el de los líquenes, y sin embargo no deja por eso de plantear problemas: hasta qué punto no se trata de un parasitismo controlado del hongo sobre el alga?. El hongo "cuida" no obstante su "cultivo" de algas quizás de forma parecida a lo que - hace el hombre con el trigo. Sin embargo esta asociación llega a tal extremo de intensidad que más - que dos especies (a veces no más de dos) son una nueva entidad biológica, con una morfología y fisiología propias, e incluso con nuevos sistemas de reproducción conjunta (soralios y soredios). Difícil - interpretación, no por incompresibilidad de su organización, sino más bien por el afán humano de - - "etiquetar" y generalizar modelos y conceptos dentro de compartimentos estancos.

El maniqueismo más arriba comentado llega a sus extremos a la hora de discutir y juzgar el parasitismo, y ésto además con peligrosas implicaciones prácticas. Se piensa que toda acción conducente a la eliminación de parásitos es buena para el parasitado (hospedante, hospedador o patrón.) Sin embargo, su eliminación total o parcial puede romper el equilibrio de la dinámica de población de la especie, e incluso repercutir en otras. Aparte de contribuir a veces en la selección de individuos más fuertes y resistentes, el parásito puede haber triunfado competitivamente sobre otros que pasarán a ocupar su nicho en caso de que él desaparezca, provocando quizás la explosión demográfica de peores agentes parasitarios. Todo ésto adquiere un enorme interés práctico y aplicado en Agronomía, en el estudio y tratamiento de las plagas del campo. Mantenerlas por debajo de unos ciertos límites de tolerancia puede resultar a la larga mucho más rentable que invertir en su exterminio total, amén - de otros problemas de índole ambiental (contaminación por pesticidas).

El parasitismo existe entre todo tipo de especies y niveles de organización. Veamos algunos ejemplos:

parásito	Parasitado
Virus (bacteriófagos)	Bacterias
Virus (mosaico del tabaco, tristeza de los agrios)	Vegetales superiores (tabaco, cítricos)
Virus (gripe, sarampión, - poliomelitis)	Animales superiores (mamíferos).
Bacterias (Pseudomonas savastonoi)	Vegetales superiores (olivo)

Bacterias (Salmonella typhi, Vibrio colerae)	Animales (hombre: tifus y colera).
Vegetales inferiores (hongos: Laboulbenia, Mahevia, ...)	Invertebrados (Dípteros, Coleópteros ...)
Vegetales inferiores (hongos: Candida albicans, Histoplasma capsulatum).	Vertebrados (hombre: histoplasmosis y otras infecciones).
Vegetales inferiores (Fusarium, Puccinia...)	Vegetales superiores (Fanerógamas)
Vegetales superiores (Orobanche, Viscum, Cytinus)	Vegetales superiores (Fanerógamas)
Invertebrados (numerosísimos Artrópodos, Moluscos, Gusanos ...)	Vegetales superiores e inferiores.

Se encuentran en la Naturaleza numerosos casos de parasitismo intraespecífico: algunos grupos de insectos por ejemplo, cuyas crías nacen dentro de la madre-ovoviviparismo hemocélico- pasan cierto tiempo en su celoma alimentándose de ella hasta matarla; Bonellia viridis es un Equiuroideo marino en el quelos machos -de pocos mm. de tamaño- son parásitos de las hembras - de mayores dimensiones- viviendo dentro de su gonóporo; en amplio sentido también el esporofito de los musgos o el embrión de los mamíferos placentarios son casos de parasitismo.

Los parásitos presentan intensas adaptaciones a su forma de vida (reducción de órganos, incremento de los propágulos asexuales o de la tasa de multiplicación sexual, haustorios, pérdida del metabolismo autótrofo, etc.) También las hay en el hospedante, como medida de protección y aislamiento del parásito (agallas, reacciones antibióticas, exudaciones, células fagocitarias, cutículas espesas, etc).

La depredación es la relación establecida entre dos especies cuando una se alimenta de la otra (presa). La existencia de predatores contribuye al mantenimiento de la salud y el vigor de la población depredada, puesto que los individuos más débiles y menos aptos son presa más fácil.

Por último la competencia es una forma de interacción sumamente frecuente en las comunidades biológicas. Se dá con tanto mayor intensidad cuanto más se acercan y parecen los nichos que las especies competidoras tienden a ocupar. O bien una acaba desplazando a la otra de forma total, o se consigue un equilibrio basado en una cierta diferenciación de funciones, ciclo y espacio, o a través de un control del crecimiento de una especie sobre la otra.

4.1.- ESTRUCTURA TROFICA, METODOS DE ESTUDIO Y APLICACIONES

Las especies que forman el ecosistema no se encuentran agrupadas en forma heterogénea y desordenada, puesto que, como resultado de procesos de evolución y adaptación conjuntos, adquieren poco a poco una estructura, una organización característica en respuesta a las condiciones ambientales reinantes en su biotopo.

De entrada, cada una de las especies componentes estará caracterizada por un determinado tamaño de población, consecuencia del equilibrio entre el potencial biótico del medio, el ritmo de multiplicación de la especie y la incidencia de parásitos, depredadores y competidores. Ocupará además, un territorio concreto, con un modelo de distribución particular. Mantendrá una serie de interrelaciones con parte de las restantes especies de la biocenosis, y su presencia obedecerá a un conjunto de causas histórico-ecológicas -éstos aspectos se tratarán más detalladamente en el capítulo 4-. Por último, manifestará un biotipo (forma de vida) adecuado con su habitat y con su forma de explotar o utilizar el medio, traducible en un cierto pelaje, ciclo de actividad estacional, bioforma o estructura fisionómica, etc. Sobre éste aspecto, recogemos en la Fig.3.4.1 un esquema de los biotipos fundamentales del mundo vegetal, propuestos por RAUNKIER para las plantas superiores.

Superando ya el nivel específico, el análisis de la organización espacial de la comunidad, puede contemplarse desde diferentes puntos de vista. Veremos algunos de ellos.

El punto de vista trófico

Entre los conceptos más tradicionales y básicos de la Ecología, se encuentran los relacionados con la organización trófica biocenótica. Existen normalmente varios niveles tróficos en un ecosistema: el de los productores (autótrofos foto y quimiosintéticos); el de los consumidores (subdividible en varios: de 1er orden o herbívoros, de 2º o carnívoros; e incluso de 3er y 4º orden formado por otros carnívoros carroñeros) y el de los detritívoros, por diferentes autrópodos, microorganismos

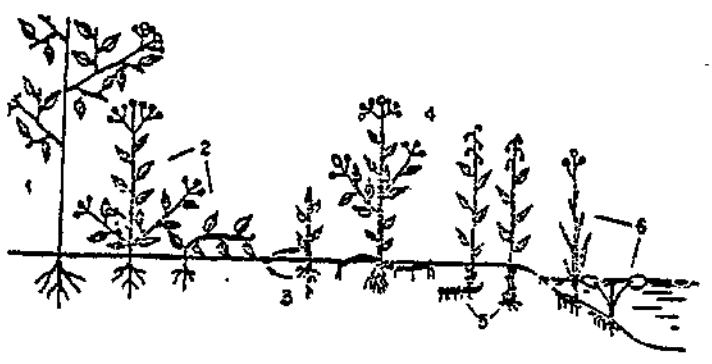


Figura: 3.4.1- Biotipos de RAUNKIER: Fanerófitos(1); Ceméfitos(2); Terófitos(3); Hemicriptófitos(4); Geófitos(5); Hidrófitos(6).

Se debe a RAUNKIER la primera clasificación de biotipos vegetales (bioformas o formas etológicas) en las siguientes categorías: fanerófitos (yemas a más de 50 cm. del suelo: árboles, arbustos); caméfitos (yemas por encima del suelo, pero a menos de 50 cm.; se trata de arbustos almohadillados, de subfrútices y algunas herbáceas perennes); hemicriptófitos (yemas invernales a ras de sue-

lo, rodeadas generalmente de hojas protectoras); criptófitos (plantas vivaces con yemas por debajo del suelo, situadas en bulbos, rizomas y tubérculos); terófitos (plantas anuales que atraviesan la época desfavorable en estado de semilla); hidrófitos (yemas sumergidas en el agua). Estas categorías pueden ampliarse y completarse aún más: aerófitos, saprófitos, macro, meso y nanofanerófitos, ...) Una completísima tipificación puede encontrarse en la obra "Relevé méthodique de la végétation et du milieu" de EMBERGER, GODRON et al (1968). El porcentaje de biotipos en una comunidad vegetal puede suministar bastante información sobre el conjunto de factores ambientales reinantes. Por ejemplo, una comunidad de matorral oromediterráneo, por encima de los 2.000 m. presentará un alto porcentaje de *nanofanerófitos y caméfitos, ningún macro y mesofanerófito y algunos hemicriptófitos, criptófitos* (también llamados geófitos) y terófitos.

del suelo, hongos saprófitos y bacterias, que mineralizan la materia orgánica de excrementos, deshechos y cadáveres, reciclando de nuevo los nutrientes hacia los productores.

Como bien puede comprenderse, nivel trófico es el número de etapas que separa a un rango de alimentación determinado del correspondiente a los productores primarios. Un lobo, por ejemplo, ocupa un nivel de tercer orden puesto que se alimenta de herbívoros, los cuales lo hacen a su véz de vegetales. Un arácnido puede quizás ocupar un nivel de cuarto orden si su nutrición está formapor insectos carnívoros. Nuestro arácnido puede a su vez servir de alimento a un ave que posiblemente utilice cierto porcentaje de semillas en su dieta. Evidentemente este ave ocuparía simultáneamente más de un nivel. Esto no es obstáculo intelectual para manejar el concepto: en biología sobran los dogmatismos absolutistas.

Cadena trófica es el conjunto de especies que se alimentan y sirven de alimento sucesivamente unas a otras. En la naturaleza, es frecuente encontrarse con situacione más complicadas, no lineales, en las que una especie se alimenta de varias, de las cuales algunas son compartidas como fuente de nutrición por otras, etc. Debe pues hablarse más exactamente que de cadenas, de redes tróficas.

A ⟶ B ⟶ C ⟶ D

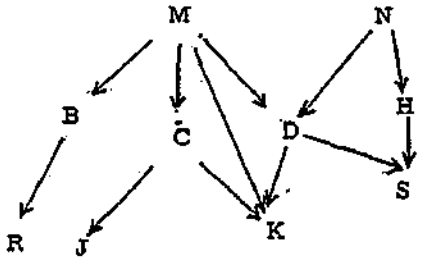


Figura: 3.4.2.- Cadena y Red Tróficas

Algunos autores sitematizan el estudio de las cadenas tróficas, distinguiendo:

a) Aquellas que comienzan en un organismo productor mediante una relación de predación. Son las llamadas cadenas de predatores en las que los herbívoros forman el segundo elemento de la cadena y son depredados por organismos carnívoros. Generalmente se experimenta en estas cadenas un aumento del tamaño de los organismos según avanza la cadena. A la hora de calcular balances de energía y flujos de materiales en el ecosistema son este tipo de cadenas quizás las más importantes. También interesa su estudio a la hora de prédecir el destino de los contaminantes liberados al entorno (fig3.4.6).

b) Aquellas que aun comenzando también en organismos productores, se dirigen sucesivamente hacia especies de menor tamaño a través de relaciones de parasitismo. Son las llamadas cadenas de parásitos. Al revés que en el caso anterior el número de individuos aumenta al avanzar a lo lar-

go de la cadena. Tiene mucho interés su estudio en el campo de la lucha integrada y biológica contra las plagas de los cultivos y especies forestales.

c) Aquellas que se inician en materiales orgánicos muertos (hojarasca del suelo, cadáveres de animales, troncos muertos, etc) Son las cadenas de saprófagos y detritívoros. En el medio cavernícola por ejemplo, por ausencia de luz, los únicos autótrofos son los organismos quimiosintéticos y la base primaria fundamental de alimentación está sin embargo constituida por materiales orgánicos procedentes de exportaciones realizadas por ecosistemas epígeos, transportados por diferentes medios (guano de murciélagos, residuos de humus, infiltración de aguas con materia orgánica en suspensión, polen, etc). Algo parecido ocurre con el medio abisal y con los horizontes superiores del suelo. El conocimiento de estas cadenas es importante a la hora de ajustar el reciclaje de nutrientes del sistema.

Todos estos criterios y conceptos pueden ser muy útiles en la descripción y estudio de la estructura trófica de una comunidad. Por último, una imagen escueta se consigue también con el trazado de pirámides de biomasas o de número total de individuos en cada uno de los niveles tróficos existentes. El rendimiento de transmisión de la energía y materiales de unos niveles a otros es pequeño, en función de las pérdidas debidas a los gastos de conservación y actividad (respiración), los propios rendimientos de los procesos metabólicos, y el pequeño porcentaje de utilización del alimento disponible, necesario para la conservación de una estructura ecológica equilibrada.

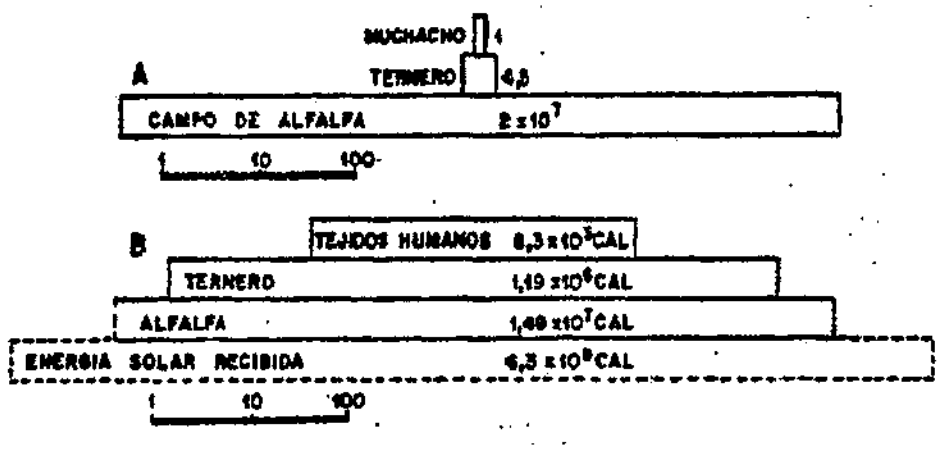


Figura 3.4.3.: Pirámides del número de individuos (A) y de energía contenida en la biomasa (B), para el caso de un sistema hipotético formado por un campo de alfalfa de 4 Ha. que puede alimentar a 4, 5 terneros y éstos a un mumacho durante un año (ODUM in DAJOZ).

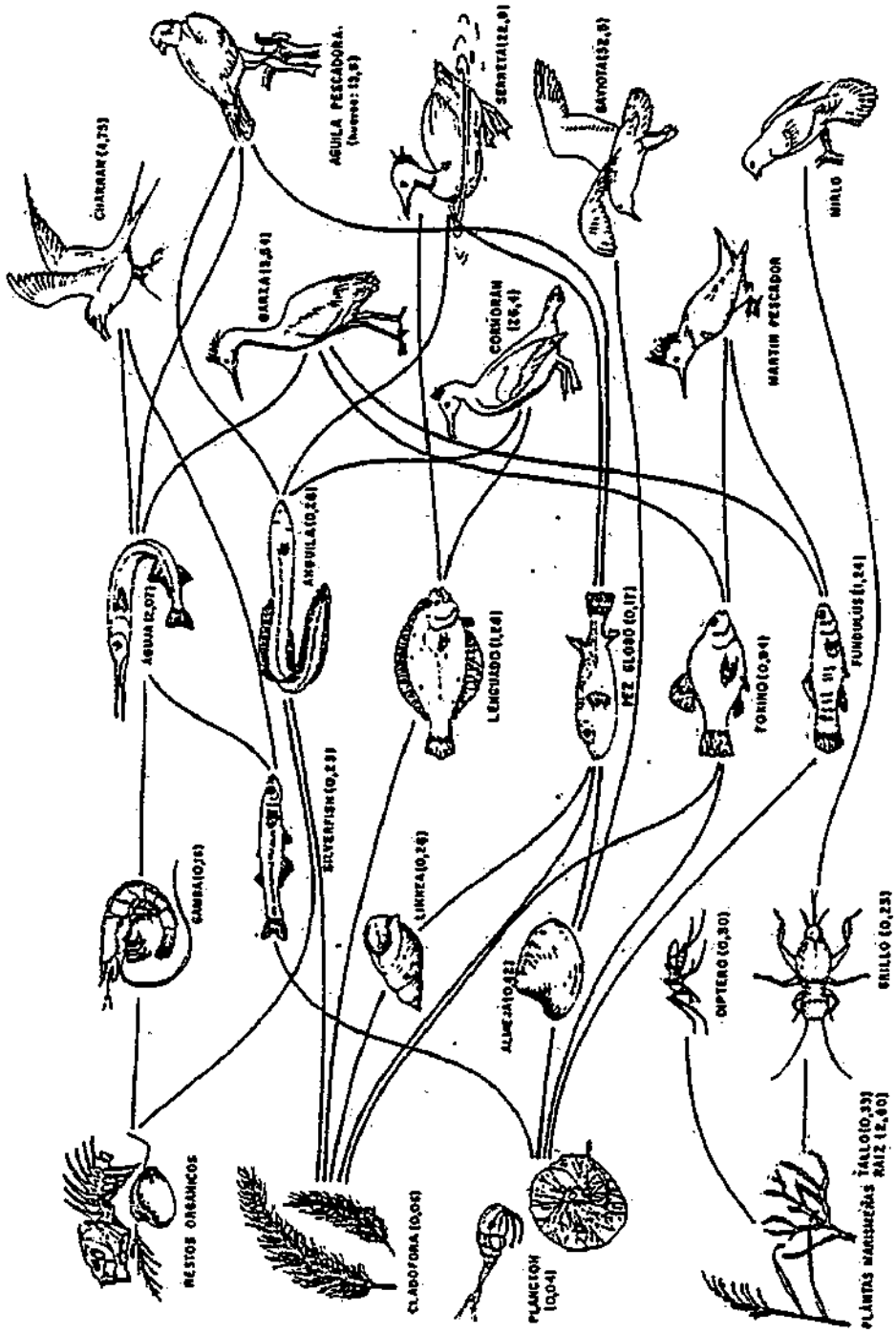


Figura: 3.4.4.- Esquema parcial de una red trófica en un estuario (Woodwel). Las cifras son los ppm. de DDT encontrados en los organismos de las diferentes especies.

4.2.- ORGANIZACION EN EL ESPACIO. METODOS DE ESTUDIO. APLICACIONES

Al igual que las especies presentan modelos de dispersión en el espacio que raramente responden a distribuciones homogéneas, los ecosistemas manifiestan la existencia de tendencias, estructuras espaciales, modelos de organización interna, que plantean serios problemas cuando se pretende delimitar las fronteras del ecosistema (generalmente establecidas a través de zonas de transición o ecotonos), al estudiar de forma cuantitativa su composición y complejidad o al intentar encontrar sistemas jerárquicos para la clasificación de los mismos.

Entre las técnicas matemáticas basadas en el análisis factorial de conjuntos de datos constituídos por las frecuencias con que se presentan las diferentes especies en una serie de parcelas, localidades o situaciones estuciadas, es preciso distinguir aquellas que pretenden una ordenación de dichos vectores-inventario en unos pocos ejes que resuman la mayor parte posible de la información que las n variables (las n especies) estudiadas poseen, de aquellas otras que clasifican las estructuras halladas (los mismos vectores-inventario) por medio de la definición de coeficientes de distancia o de similitud, tras lo cual construyen un dendrograma que permite (al seccionarle a un cierto nivel de similitud) definir unas clases y leer las localidades, situaciones o estructuras que resultan incluídas en cada una de ellas. Entre las técnicas de ordenación, el análisis de componentes principales y el factorial de correspondencias están entre las habituales en el trabajo del ecólogo. Su interpretación permite además conocer los factores medioambientales que determinan la organización conseguida.

Para la ampliación y consulta de estas técnicas recomendamos el texto de L. LEGENDRE y P. LEGENDRE.

El estudio de la organización en el espacio puede incluir tambíen la tipificación de las fronteras entre ecosistemas, el estudio de superficies de tendencia, de estructuras reticuladas y otros aspectos más complejos, con independencia de la posibilidad de analizar globalmente la organización territorial de cada una de las especies presentes, consideradas por separado.

Algunas soluciones metodológicamente simples del análisis estructural de algunas taxocenosis han permitido el desarrollo de ciencias sintaxonómicas como la escuela fitosociológica de Zurich-Montpelier.

4.3. OTROS METODOS DE ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA

a) Análisis de la Diversidad

La diversidad como medida de la organización es seguramente uno de los conceptos más interesantes de la moderna Ecología. El término no se refiere exclusivamente al punto de vista taxonómico, es decir al número de especies interaccionantes, sino que, de forma más amplia, se habla también de diversidad trófica, diversidad de nichos ecológicos,[x] o diversidad química (con respecto al -

---

x Al igual que el concepto de habitat se refiere al lugar que ocupa la especie en el biotopo, el término de nicho se aplica para describir la forma de utilizar y explotar el medio, es decir, el "oficio" de dicha especie.

número de tipos de pigmentos, proteinas, etc, presentes, y sus proporciones relativas). Por otra parte, el concepto juega simultáneamente con el número de especies y la cuantía de sus poblaciones, es decir y en definitva con las probabilidades de encontrar individuos de una especie dada al realizar una extracción del total de la comunidad.

Han sido propuestas numerosas fórmulas para expresar la diversidad ecológica; entre las más utilizadas se encuentra la inspirada en SHANON, de gran interés por estimar la cantidad de información (en bits) de la comunidad:

$$D = -\sum_{1}^{m} p_i \log_2 p_i$$

donde

$p_i = n_i/N$ (probabilidad)
n_i nº de individuos de la especie i
m: nº de especies presentes.
N: nº de individuos totales en la comunidad.

Cuanto más diverso es un sistema ecológico, tanto mayor será el número de posibles relaciones establecidas entre sus elementos, mayor será la información acumulada, y en definitiva mayor su grado de estabilidad y capacidad de absorber alteraciones procedentes del exterior.

La medida de la diversidad puede utilizarse no solamente como valor puntual, sino también en la apreciación de diferencias de organización en las comunidades a lo largo del espacio, su correlación con ciertos factores ambientales, determinación de áreas mínimas, evaluación del grado de heterogeneidad entre ecosistemas, estudio a lo largo de gradientes, etc.

b) El punto de vista botánico

Los ecólogos vegetales trabajan preferentemente con varios criterios más o menos específicos, como:

-estratificación: subdivisión en estratos de la componente vegetal de la comunidad, según dirección vertical (arbóreo, arbustivo, herbáceo, muscinal, ...).

-biotipos o bioformas: criterio comentado en la figura 3.4.1

-inventarios fitosociológicos: listas de especies caracterizadas por índice de abundancia y sociabilidad.

-cobertura e índice de área foliar: así se caracterian los porcentajes de suelo y espacio aéreo ocupados por las plantas, protección contra la erosión edáfica y aprovechamiento de la radiación solar potencial.

- distribución espacial y estructura de edades de las especies más importantes.

-diveros aspectos fisiológicos, morfológicos y etológicos de la comunidad y especies componentes, como evapotranspiración, dispersión de semillas y propágulos, rebrote vegetativo, etc.

Destacamos finalemente un criterio propuesto por PAYETTE y GAUTHIER, aplicable a rápidas descripciones en trabajos de cartografía vegetal mediante fotointerpretación, según el cual la comunidad puede caracterizarse simplemente por tres parámetros: 1) forma de crecimiento (leñosa, herbácea, -

muscinal, ...); 2) estratificación; y 3) cobertura. Cada tipo de formación vegetal descrita tiene así un modelo gráfico de síntesis que muestra de forma rápida sus principales rasgos fisionómicos.

c) El punto de vista zoológico

Por su parte, los zooecólogos, trabajan con otros métodos y criterios algo distintos a los anteriores, en la caracterización de la componente animal del ecosistema. Domina, evidentemente, el punto de vista trófico: es importante conocer el régimen alimenticio, relaciones presa-predator, niveles de parasitismo, etc. Se cuenta para ello con algunas técnicas y observaciones como el análisis de excrementos y contenidos estomacales. Desde el ángulo demográfico, los métodos de muestreo de las poblaciones animales difieren sustancialmente de los relativos al mundo vegetal, en virtud de su movilidad y del tamaño de las poblaciones con que se trabaja. Son necesarias técnicas especiales de recolección, marcaje y recaptura, y evaluación mediante fotografía aérea. No debe olvidarse la importancia práctica que este tema adquiere en el estudio de las plagas del campo, explotación de recursos piscícolas, conservación de la fauna salvaje, y administración de reservas zoológicas.

VALVERDE (1967) ha propuesto la utilización de cenogramas para sintetizar y comprender la correlación entre el conjunto de regímenes alimenticios de una comunidad de vertebrados terrestres y el tamaño medio de cada especie (Fig. 3.4.5.). Se observa así como dichas dimensiones no están debidas al azar: las especies presa son de talla mayor o menor que la de sus predatores, ya que en cualquiera de estos dos casos se consigue así una mejor estrategia de huída. Aquellas que sobrepasan el tamaño medio de su grupo han adquirido nuevas adaptaciones para la defensa (cornamenta, velocidad, colmillos). Existe un intérvalo de dimensiones en el que se sitúan preferentemente los carnívoros y están ausentes las especies presa, en virtud de los riesgos máximos que ello implica. Cuanto mayor es la energía que tiene que emplear un depredador para capturar su presa, menor será su beneficio energético. Por eso, la adquisición de medios pasivos de defensa (camuflaje y escondite) es una forma eficaz de disminuir la rentabilidad de su captura.

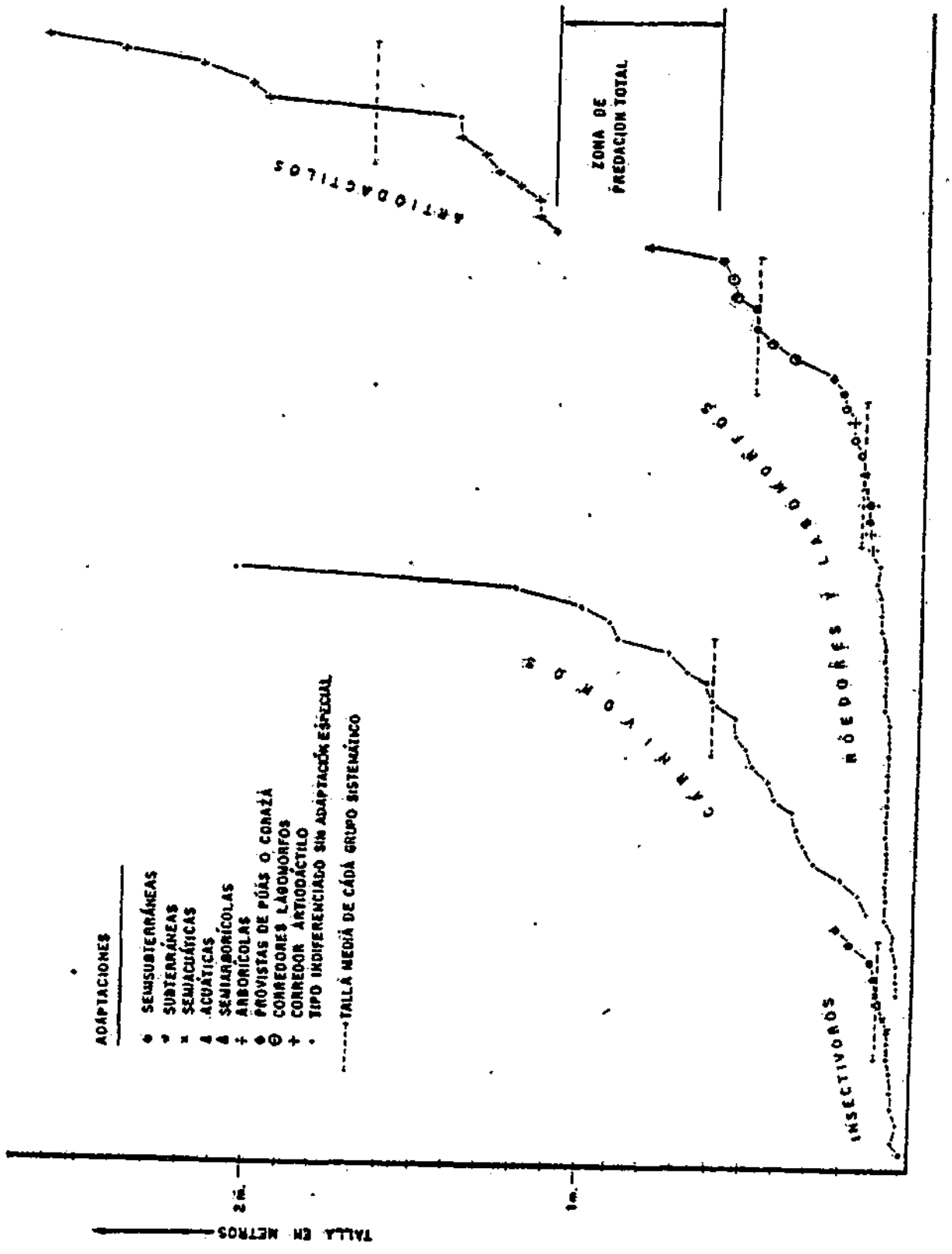


Fig. : 3.4.5 - Cenograma de los Mamiferos terrestres europeos (VALVERDE 1967). Se han colocado las especies por grupos tróficos y en orden creciente de tamaño.

El ecosistema no es algo estático en el tiempo, y si consigue mantener una cierta organización, lo hace en virtud de una dinamicidad contínua, de un flujo de energía, materiales e información que constantemente le atraviesa, y de un procesamiento y elaboración de respuestas concretas que van manteniendo y modelando a la véz la estructura del sistema, haciéndole más independiente, más complejo y autosuficiente con respecto al medio que le rodea. Nos ocuparemos en este capítulo de varios aspectos ecofisiológicos. Consideraremos para ello tres puntos de vista: el energético, el del intercambio de materiales y el cibernético.

5.1. FLUJO DE ENERGIA

El flujo o constante solar de energía radiante que incide sobre el planeta Tierra es de 2 cal/cm^2/min, pero al atravesar la atmósfera, se pierden por reflexión, absorción y difusión las tres cuartas partes de este flujo, incidiendo pues, sobre los organismos fotosintéticos de la Biosfera unas 300.000 cal/m^2/hora. Entre la clorofila y el resto de los pigmentos se utiliza tan sólo una pequeña parte de esa radiación limitada a la zona visible del espectro energético, y de ésta, preferentemente las longitudes de onda correspondientes al rojo y azul. Del infrarrojo, la banda más térmica es parcialmente absorbida por el agua de la planta, y el resto reflejado. Se evitan de esta manera elevaciones peligrosas de la temperatura. En definitiva, el rendimiento de la máquina fotosintética no suele ser superior al 1%, considerando la relación entre el flujo de energía recibido por la hoja y el utilizado en fijación de CO_2. Alrededor de 300mg. de clorofila/m^2 bastan para aprovechar eficazmente la radiación solar a la vista de todas estas limitaciones.

Se entiende por productividad o producción primaria el incremento de la biomasa de la componente autótrofa de la comunidad, en un intérvalo de tiempo dado. También suele emplearse el término de producción secundaria, referente a los herbívoros.

La productividad primaria de la Biosfera depende del ecosistema en particular considerado, función del tipo de comunidad existente, latitud, climatología, etc. En el medio terrestre, las zonas más productivas ocupan las regiones ecuatoriales. En el medio marino, las productividades más altas están correlacionadas con la mayor abundancia de ntrientes minerales, como ocurre, por ejemplo, en las zonas de afloramiento de aguas cálidas ascendentes que arrastran nutrientes desde los fondos oceánicos hacia las capas superiores mejor iluminadas, y por lo tanto más óptimas para la fotosíntesis. En ocasiones, estas zonas suelen estar a su véz correlacionadas con la presencia de regiones desérticas en las masas continentales próximas, puesto que al ser predominantes los vientos de dirección tierra —— mar (en búsqueda de las bajas presiones aparecidas en el óceano por la contínua calefacción y ascenso de capas de aire), se origina una barrera para la llegada de aire húmedo al continente, acentúandose poderosamente su desertización.

La producción primaria puede medirse por diferentes métodos: a) por corte y pesada, en diferentes lapsos de tiempo de la biomasa total; b) estimando el CO_2 fijado o el O_2 desprendido por métodos de estequiométricos; c) utilizando $C^{14}O_2$ radioactivo; d) mediante otros métodos de estimación del intercambio de CO_2 atmosférico, como por ejemplo la absorción de infrarrojo. También hay factores indirectos que pueden dar idea de la productividad potencial, como por ejemplo, la concentración de clorofila/unidad de superficie, ya que la relación $\frac{\text{mg de clorofila/m}^2}{\text{mg de C fijados/m}^2\text{/hora}}$ suele estar próxima a 5. No obstante éste último criterio suele tener ciertas dificultades de correlación.

El flujo de energía a través de los sucesivos niveles tróficos puede representarse mediante diagramas como el de la figura3. 5. 1.). Se aprecia cómo debido a las pérdidas de respiración y no utilización total de la biomasa disponible, la energía transmitida de unos niveles a otros, se reduce considerablemente con sólo dos o tres cesiones.

Existen ecosistemas especialmente productivos, como los arrecifes coralinos, las regiones pantanosas y las selvas tropicales, frente a otros de escasa productividad (desiertos y tundras, p. e.). No siempre son los facores energéticos la causa de la menor o mayor producción, ya que generalmente, la no disponibilidad de los nutrientes esenciales, suele constituir la más poderosa razón limitante (H_2O, P, N, Ca, CO_2, etc.).

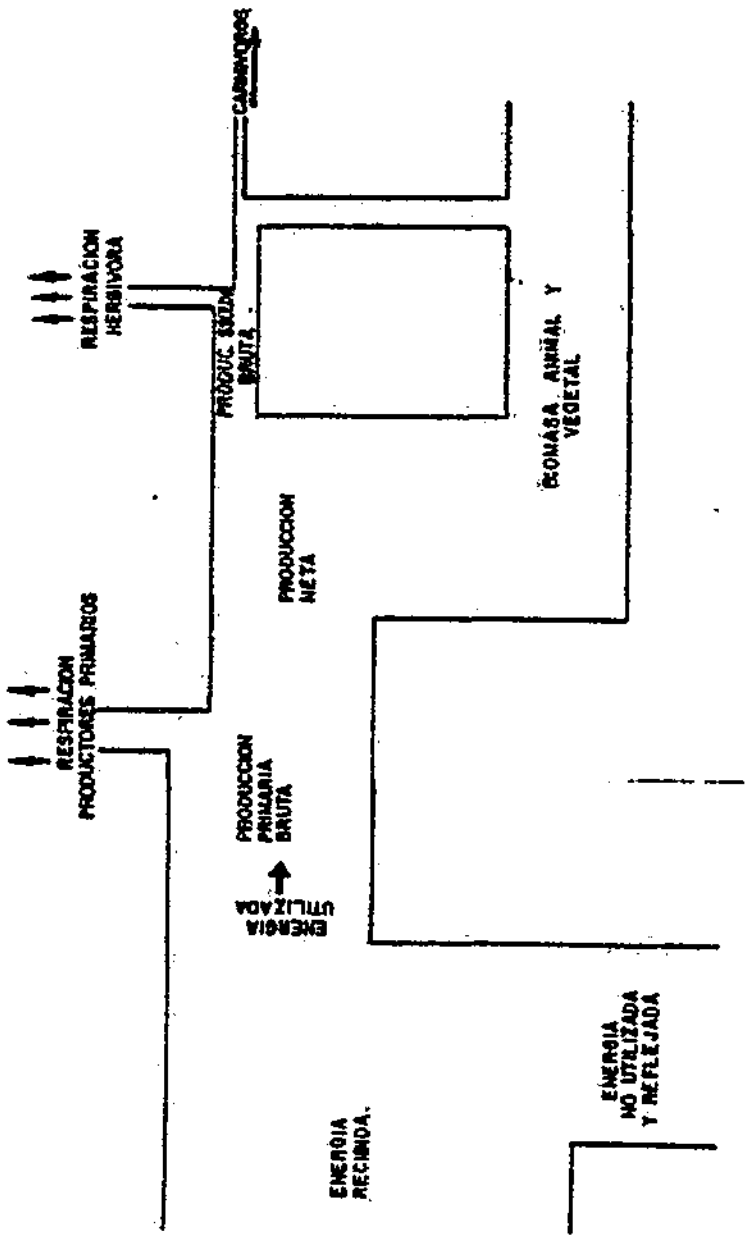


Fig. : 3. 5. 1 - Flujo de nergía a través de dos niveles tróficos.

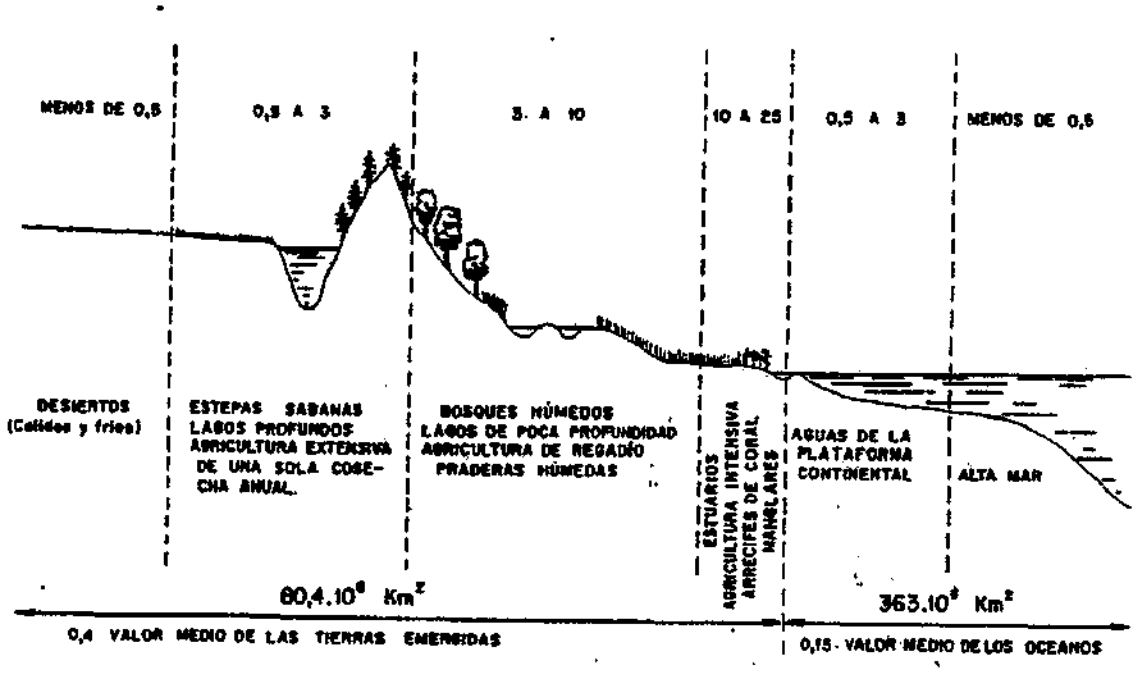


Fig.: 3.5.2 Distribución de la producción primaria bruta en gramos de materia seca por metro cuadrado y dia en diversos ecosistemas de la biosfera (Odum in DAJOZ)

5.2. FLUJO DE MATERIALES. CICLOS BIOGEOQUIMICOS

El ecosistema no solamente necesita energía para su actividad, puesto que toda su estructura se mantiene gracias a unos materiales de los que es preciso disponer, usar, almacenar y devolver al medio para asegurar su ulterior utilización. El problema básico relativo al flujo de materiales (C, O_2, N, H_2O, Ca, P, K, ...) es diferente al de la energía. Allí teníamos una fuente constante de energía: el Sol. Pero los materiales que constituyen los seres vivos son recursos agotables. La única solución es la de asegurar una velocidad de reciclaje suficientemente alta, desde los productores primarios hasta los detritívoros y saprobios, sin almacenar ni bloquear de forma definitiva ningún elemento indispensable. Es en este punto donde se centra uno de los más importantes aspectos del impacto provocado por el hombre sobre la Biosfera. Los ecosistemas naturales habían sufrido un proceso de adaptación contínua que siempre cuidó asegurar la devolución de los nutrientes al medio en forma equilibrada y constante. Si embargo, la civilización humana ha extraído ingentes cantidades de elementos almacenados en la litosfera (fosfatos, nitratos, combustibles orgánicos, minerales, ...) y acumulado otros (CO_2 en la atmósfera, Hg, Pb, Cd, isótopos radioactivos, etc, a lo largo de las cadenas tróficas y sobre todo en los últimos eslabones de las mismas). Desde el punto de vista ecológico quizás la característica más distintiva de la especie humana en lo referente a su acción sobre la Naturaleza, no sea tanto su afán de explotación intensiva, sino más bien su despreocupación por el reciclaje equilibrado de los elementos y moléculas biogénicas.

De todo lo dicho puede ya deducirse la importancia de considerar y estudiar los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes fundamentales de los seres vivos.

La vida depende de la disponibilidad de unos 20 elementos necesarios para la dinámica de los procesos vitales. Aunque los hidratos de carbono se pueden fotosintetizar a partir de agua y del anhídrico carbónico de la atmósfera hay sustancias orgánicas más complejas que requieren además otros com-

ponentes, bien en cantidades considerables como en el caso del nitrógeno y fósforo, bien en cantidades muy pequeñas como en el cinc y molibdeno; es más el mismo proceso de la fotosíntesis se desarrolla en presencia

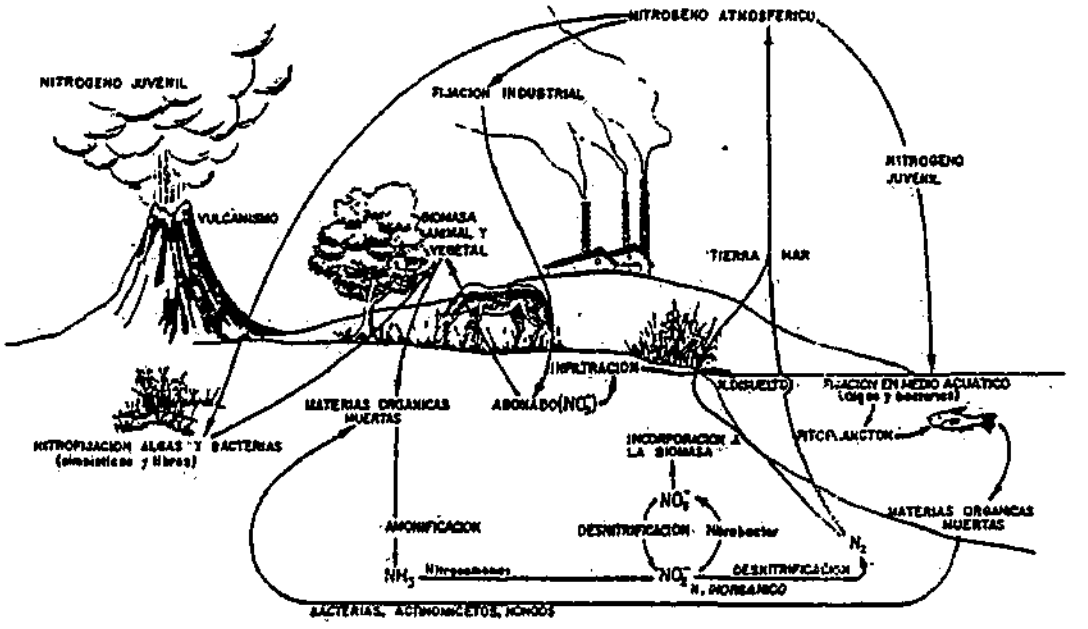


Fig. : 3.5.3 - Ciclo del nitrógeno

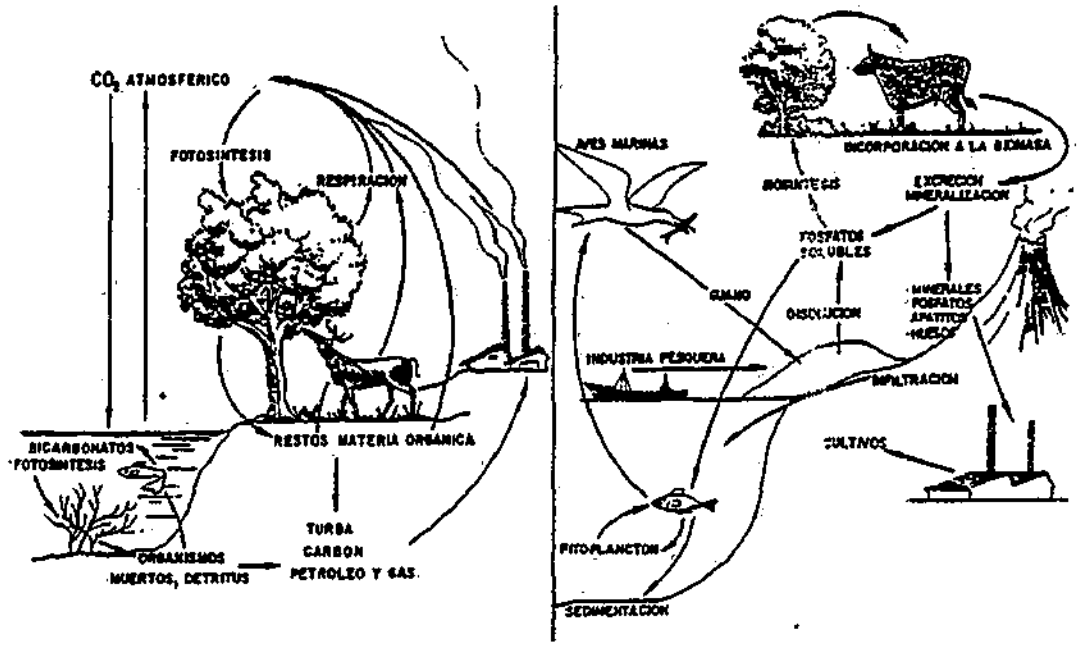


Fig.: 3.5.4 - Ciclo bioquímico del carbono

3.5.5 - Ciclo del fósforo

de enzimas que contienen en si mismas toda una serie de elementos. Por tanto, es importante estudiar el movimiento de estos nutrientes en los ecosistemas.

Existen tres tipo de ciclos principales, uno es el ciclo hidrológico que implica el movimiento de un compuesto, los otros son ciclos de elementos. Estos últimos ciclos de elementos químicos afectan a los organismos biológicos y a su ambiente geológico y se conocen bajo el nombre colectivo de ciclos biogeoquímicos.

En uno de los grupos de los ciclos biogeoquímicos la atmósfera constituye el principal almacén del elemento que se encuentra allí en fase gaseoso; en estos ciclos la abundancia y distribución del elemento varía poco o por lo menos de una forma no permanente.

Los ciclos de carbono y del nitrógeno son dos representantes importantes de los ciclos biogeoquímicos con una fase predominantemente gaseosa. En los ciclos de tipo sedimentario el almacén principal es la litosfera de la cual se liberan los alimentos por la acción atmosférica. Los ciclos de tipo sedimentario como son los del fósforo, azufre, etc. entre otros, tienen cierta tendencia a estancarse, es decir parte del suministro puede perderse en los sedimentos profundos del océano y quedar inaccesibles para los organismos y para el ciclaje contínuo.

EL CICLO DEL AGUA

El agua es el medio en que transcurren los procesos vitales. Hoy día todo el mundo sabe que la molécula de agua resulta de la combinación de un átomo de oxígeno con dos hidrógenos. Esta es una molécula aparentemente simple pero cuyas propiedades extraordinarias constituyen el fundamento mismo de la vida terrestre.

Señalaremos en primer lugar que el comportamiento del agua no es el que debiera ser como lo demuestra un simple ejemplo: el hielo flota, normalmente cuando un líquido se enfría se contrae; incluso el propio hielo cuando pasa al estado sólido se contrae aún más, razón por la cual un cuerpo en estado sólido es más denso que en estado íquido, normalmente decimos, pues el hielo no debería flotar. Lo que sucede en realidad es que cuando se enfría el agua se contrae hasta la temperatura de 4ºC pero luego se dilata antes de transformarse en hielo.

La compresibilidad del agua disminuye en cuanto la temperatura se eleva entre 0 y 50° al contrario de lo que sucede con otros líquidos, su viscosidad disminuye en lugar de aumentar cuando se eleva la presión, pero si comparamos el agua con otros compuestos de hidrógeno como los que se forman con el azufre y con el selenio se observa que el agua debería ser gaseosa a la temperatura ordinaria hervirá a 90° bajo cero y transformarse en hielo a -100° . Es evidente que en tal caso la vida en el planeta resultaría imposible.

El agua posee otra propiedad anormal de la máxima importancia: su tendencia a permanecer en estado líquido y a no cambiar demasiado fácil de temperatura. En efecto es preciso emplear una gran cantidad de energía para transformarla en hielo o en vapor. Esto es así porque su calor latente de congelación a la aparición es muy elevada. Igualmente se requiere una energía relativamente considerable para disminuir o elevar la temperatura del agua y es esta extraordinaria propiedad, la que tratándose de las enormes masas oceánicas del planeta, impide las grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche o entre el verano y el invierno que de otro modo deberíamos soportar. Su elevado calor específico hace que para un valor dado de energía incidente, la temperatura de una masa de

terminada de agua subiera más lentamente que la de cualquier otro material e inversamente, la temperatura bajará con más lentitud que vaya liberándose energía. Esta lentitud de calentamiento y enfriamiento junto con otros factores importantes afecta a los cambios anuales diarios y aún horarios de la temperatura oceánica y lacustre, muy distint s de los correspondientes cambios de temperatura que se producen en la tierra; entre otras cosas esto puede conducir a diferencias en los regímenes térmicos de los suelos de importancia ecológica fundamental. El tipo de suelo interactuando con el agua determina lo temprano o lo tardío del crecimiento vegetal. En una localidad determinada tal interacción puede afectar también al riesgo local de heladas.

El agua del mundo se encuentra en los estados líquidos (salada o dulce), sólido y gaseoso. Existen ciertas dudas sobre el volumen total, pero se piensa que se aproxima a 1.500 millones de kilómetros cúbicos. Las fracciones correspondientes a cada tipo se expresan con mayor facilidad bajo la forma de profundidades medias por unidad de superficie terrestre total, cifrada ésta en 500 millones de kilómetros cuadrados. Los océanos y los mares, o sea el agua líquida salada total, constituyen el 97% de todo el agua con una profundiad equivalente entre los 2700 y los 2800 metros. La mayor parte de esta masa hídrica se encuentra en el hemisferio sur.

Del 3% restante, tres cuartas partes están en fase sólida en los casquetes polares y en los glaciares; la profundidad equivalente del hielo y de la nieve puede alcanzar 120 metros. El agua subterránea alcanza una profundidad equivalente a 45 metros y el agua superficial alcanza una profundidad equivalente comprendida entre 0,4 y 1 metro.

Respecto al contenido atmosférico en vapor de água existe una cifra aproximada de 0,03 metros; dicho valor representa una fracción muy pequeña del total, pero no da idea de la importancia que puede tener.

La cantidad de vapor de agua no es la misma en todas partes ni geográfica ni estacionalmente siendo mayor en y cerca del Ecuador. Si en dicha zona el aire se xprimiera hasta secarlo, se obtendrían unos 44 milímetros de lluvia. En latitudes medias digamos de 40 a 50º la producción en verano sería de unos 20 milímetros. En las regiones polares la producción fluctúa entre 2 milímetros en invierno y 8 milímetros en verano.

El vapor de agua accede a la atmósfera por la evaporación, término que incluye la transpiración vegetal. Es facil identificar a los océanos como sus fuentes principales, abandona la atmósfera en forma de lluvia o nieve, como la precipitación puede producirse cerca de la fuente o a miles de kilómetros de ellas, el tiempo de estancia del agua en la atmósfera puede variar desde horas a unas semanas. El promedio general es de 9 a 10 días.

Una véz en el aire el vapor de agua puede quedar sometido a la circulación local o pasar a formar parte de la circulación general atmosférica. La circulación general es una de las tres formas importantes de movilización del agua através de la tierra. Para darnos idea de los volúmenes mundiales implicados basta tener en cuenta que la precipitación anual total sobre América del Norte viene a ser de unos 6.000 Km3, mientras que el líquido equivalente al vapor de agua que pasa sobre la misma zona en un año, gracias a la circulación general atmosférica, es de 10 veces la cantidad anterior.

Quedan por mencionar dos formas del movimiento del agua a través de la tierra, una de ellas la constituyen las principales fuentes oceánicas y la otra las descargas fluviales. Ambas tienen efectos notorios sobre la biósfera.

Las corrientes oceánicas transportan a grandes distancias excedentes o déficits energéticos. Un ejemplo bien conocido es el que hace posible el gran contraste entre los climas de los lados este y oeste del Atlántico en la zona comprendida entre los 50 y 55º de latitud norte. Sin la corriente del Golfo, el Noroeste de Europa sería un lugar mucho menos agradable para vivir y trabajar.

Los ríos del mundo no sólo son transportadores de agua a larga distancia sino que sirven también como conductores de materiales disueltos en suspensión, ya que por sus propiedades físicas y químicas el agua es un agente erosionante muy eficaz. La erosión y transporte y la exposición, han de ser reconocidos como procesos, geológicos asociados al agua en la biosfera. Son estos los procesos que han producido las tierras y los suelos hoy intensamente poblados e intensamente cultivados donde se considera a las avenidas anuales y a la deposición de los acarreos fluviales como principales soportes de la vida.

EL CICLO DE CARBONO

Al hablar de la fotosíntesis y de la fijación de energía por el ecosistema terrestre hemos hablado necesariamente de la fijación del carbono del anhídrido carbónico en el proceso denominado de asimilación de energía y del consiguiente desprendimiento del CO_2 y del retorno a la atmósfera en el proceso de desasimilación llamado respiración.

Vamos pues ahora a hablar más estrictamente del ciclo del carbono. La vida, la vida vegetal, es algo más que la creación de compuestos orgánicos mediante la fotosíntesis. El crecimiento vegetal implica una serie de procesos químicos y de transformaciones que requieren energía.

Como hemos visto antes dicha energía se obtiene mediante reacciones que utilizan el oxígeno del agua y del aire circundante para liberar la energía almacenada por la fotosíntesis. El proceso como decíamos también antes, desprende anhídrido carbónico y recibe el nombre de respiración. Si se mide el anhídrido carbónico a distintos niveles sobre el suelo de un bosque pueden observarse cambios producidos en su concentración a lo largo de las 24 horas del día, como consecuencia evidente de este proceso de respiración.

En esencia el ciclo del carbono comienza por la absorción del anhídrido carbónico en el proceso denominado asimilación de las plantas y vuelve a la atmósfera en el proceso denominado respiración vegetal. Indudablemente los seres, los organismos heterótrofos, es decir aquellos que se alimentan de la energía acumulada por otros organismos, como ya hemos visto antes, se alimentan de estas plantas y devuelven el CO_2 a la atmósfera en el proceso denominado respiración animal. El suelo tiene a su vez, emite a su vez CO_2 a la atmósfera, proviniente de la descomposición de los organismos muertos, tal como hemos dicho también en la introducción al hablar de los organismos descomponedores, de tal manera que de la respiración vegetal, la respiración animal y la respiración del suelo recogen las tres únicas fracciones que cierran el círculo del CO_2 en la atmósfera.

A menudo olvidamos la importancia de los océanos en todos los ciclos de los nutrientes pero principalmente en el ciclo carbónico, que tiene una importancia funcamental.

La cantidad de carbono que bajo la forma de anhídrido carbónico consume anualmente el fitoplancton se aproxima a 40.000 millones de toneladas. Esta es una cifra aproximadamente igual a la estimación bruta del anhídrido carbónico por la vegetación terrestre.

Tanto el anhídrido carbónico que se consume como el oxígeno que se libera se encuentran principalmente en forma de gas disuelto cerca de la superficie oceánica. Por tanto, la mayor parte del ciclo del carbono en el mar es independiente o autosuficiente, es decir los animales marinos consumen el oxígeno liberado y al descomponerse liberan anhídrido carbónico en disolución.

Sin embargo, como veremos existe un intercambio dinámico de anhídrido carbónico y de oxígeno - también entre la atmósfera y el mar provocado por la acción del viento y de las olas. La cantidad de anhídrido carbónico disuelta en las capas superficiales del mar en un momento dado se encuentra en estrecho equilibrio con la concentración de anhídrido carbónico en la atmósfera y esto es una realidad evidente de un intercambio gaseoso.

Los organismos fitoplanctónicos fijadores primarios del anhídrido carbónico en el mar constituyen la comida del Zooplanton y de otros animales pequeños que proporcionan a su vez alimento a los animales de mayor tamaño.

Sin embargo la mayor parte de la biomasa oceánica está formada por microorganismos. Dado que el ciclo vital de tales organismos se mide en semanas o como mucho en meses, nunca puede darse una acumulación notable de su masa total. Cuando los microorganismos mueren se desintegran rapidamente hundiéndose hacia las capas más profundas; pronto casi todo lo que fue el tejido vivo se ha convertido en materia orgánica disuelta.

Una pequeña parte de la materia orgánica particulada escapa a la oxidación y se sedimenta en las - profundidades oceánicas, allí influye profundamente sobre la abundancia de sustancias químicas, ya - que excepto en regiones especiales el intercambio de agua en las capas profundas con las superficiales transcurre con gran lentitud. El enriquecimiento de las capas profundas va acompañado del agotamiento de oxígeno. También parece haber un aumento del anhídrido carbónico en forma de iones - carbonato y bicarbonato en las profundidades oceánicas.

La distribución general en el mar del anhídrido carbónico, oxígeno y varios elementos menores refleja un equilibrio entre la vida marina y su ambiente químico en las capas superficiales y el lento transporte de sustancias fruto de la circulación general oceánica. El efecto neto es impedir que el océano se sature de oxígeno, así como enriquecer los estratos más profundos con iones carbonato y bicarbonato.

Al estudiar el ciclo del CO_2, del anhídrido carbónico, también llamado el ciclo del carbono, no debemos olvidar tampoco una importante fuente de aporte de CO_2 a la atmósfera, como es la combustión de los combustibles fósiles.

Indudablemente este aporte de CO_2 de combustibles fósiles procede de la fijación en el ecosistema terrestre del CO_2 de la atmósfera en épocas pretéricas.

Actualmente se liberan por efecto de la combustión de los combustibles fósiles entre 5.000 y 6.000 millones de toneladas anuales de carbono fósil a la atmósfera. Esta cantidad bastaría para incrementar la cantidad de anhídrido carbónico en el aire en 2,3 partes por millón al año, si el anhídrido - carbónico estuviese distribuido uniformemente y no se eliminase.

Durante los últimos 100 años el contenido atmosférico de anhídrido carbónico aumentó de unas 290 - partes por millón a 320 partes por millón y más de la quinta parte de dicho aumento tuvo lugar en

la década pasada. El aumento total solamente representa algo más de la tercera parte del anhídrido carbónico liberado por los combustibles fósiles, aunque es de suponer que la mayor parte de los restantes dos tercios hayan ido a parar a los océanos, es posible que una fracción significativa haya aumentado la cantidad total de la vegetacion terrestre. Se sabe gracias a las investigaciones de laboratorio que las plantas crecen con mayor rapidez cuando el aire que las rodea está enriquecido en anhídrido carbónico. Así es posible que el hombre esté de águna manera fertilizando los campos y los bosques al quemar carbón petróleo y gas natural, pero indudablemente esto es un experimento de laboratorio y se carece de datos fiables para hacer una suposición general.

Las actividades humanas continuán produciendo cambios radicales, el aumento en el consumo de combustibles fósiles implica que la cantidad de anhídrido carbónico atmosférico seguirá subiendo desde su valor actual de 320 partes por millón hasta alcanzar 375 a 400 partes por millón en el año 2.000, a pesar de que se preveen consumos altos de anhídrido carbónico tanto por parte de la vegetación terrestre como la del depósito marino. La pregunta fundamental es inmediata, - qué pasará en los próximos 100 ó 1.000 años? Evidentemente los cambios exponenciales no deben continuar.

Se puede decir que se han alterado los equilibrios dinámicos existentes entre los principales depósitos de anhídrido carbónico que existen en la biomasa, la atmósfera, la hidrosfera y el suelo. Hasta tal punto que se puede decir que están en un período de transición puesto que hasta los procesos más rápidos de ajuste entre tales depósitos requieren décadas, aún está muy lejos el establecimiento de nuevos equilibrios. Los océanos profundos sufrirán un lento proceso de incorporación, su grado de renovación aproximadamente de 1.000 años y su velocidad de intercambio con los sedimentos del fondo, controlan la extinción final del carbono.

Es claro que los océanos son indudables reguladores principales del anhídrido carbónico atmosférico y esta regulación viene determinada esencialmente por la presión parcial del anhídrido carbonico disuelto en el mar. En un período de 100.000 años por ejemplo el lavado de carbonatos del calcio en las áreas continentales, tiende a incrementar la cantidad de anhídrido carbónico atmosférico, y esta reregulación viene determinada esencialmente por la presión parcial del anhídrido carbónico desuelto en el mar. En un período de 100.000 años por ejemplo el lavado de carbonatos del calcio en las áreas continentales tiende a incrementar la cantidad de anhídrido carbónico en el mar, pero al mismo tiempo un mecanismo inverso, la deposición y precipitación de carbonatos oceánicos, tiende a disminuir la cantidad de anhídrido carbónico en disolución; de este modo existe una tendencia a anularse entre sí los dos mecanismos.

Durante períodos de tiempo más largos, las concentraciones de iones carbonato y bicarbonato en el mar estuvieron probablemente aún más reguladas por reacciones en las que intervienen potasio, silicio y aluminio que se expenden lentamente de las rocas y son llevados al mar. El efecto neto es estabilizar el contenido oceánico de anhídrido carbónico y en consecuencia también el atmosférico, por tanto parece que el anhídrido carbónico ambiental del que depende fundamentalmente la biosfera, debe haber sido constante precisamente hasta ahora, hace apenas un momento, desde un punto de vista geológico, cuando el consumo humano de combustibles fósiles empezó a alterar drasticamente el contenido atmosférico de anhídrico carbónico.

Las perturbaciones más importantes que conocemos son aquellas que el hombre está provocando en la actualidad. Puesto que sus intromisiones en los equilibrios biológicos y geoquímicos pueden resultar perjudiciales para él mismo e incluso fatales, debe conocerlos mucho mejor de lo que los conoce hoy día. La historia de la circulación del carbono nos enseña que no podemos controlar los equili-

brios globales.

EL CICLO DEL OXIGENO

El oxígeno procede del aire del cual forma alrededor del 21 %. Sin embargo su origen último se encuentra en la descomposición de las moléculas de agua que se realiza gracias a la energía luminosa durante la fotosíntesis.

Los 1.500 millones de kilómetros cúbicos de agua, que contiene la tierra, se descomponen por la fotosíntesis y se reconstruyen por la respiración cada 2 millones de años aproximadamente. El oxígeno de origen fotosintético entra temporalmente en el depósito atmosférico de donde vuelve a reciclarse cada 2.000 años al ritmo actual.

La vida pluricelular diferenciada sólo evolucionó después de aparecer el oxígeno libre en la atmósfera; las células de los animales verdaderamente multicelulares en este sentido, los metazoos, obtienen su energía descomponiendo en presencia de oxígeno el combustible que se formó durante la fotosíntesis. Este procesó recibe el nombre de respiración Es muy probable que no hubiese sido posible la evolución de las formas avanzadas de vida animal, sin los altos niveles de liberación energética característicos del metabolismo oxidativo.

El oxígeno libre no sólo es base de la vida, surge de ella, el oxígeno presente en la actualidad en la atmósfera es probablemente su mayor parte, sino por completo, de origen biológico. Algo de él se convirtió en ozono lo que es causa de que la radiación que alcanza la superficie terrestre llegue filtrada de ciertas longitudes de onda de alta energía. El oxigeno se combina con gran número de elementos en la corteza terrestre. El resultado de éste y otros procesos es una íntima interacción evolutiva entre la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera.

El oxígeno juega un papel fundamental como constituyente de prácticamente todas las moléculas vitales y representa alrededor de un cuarto de los átomos en la materia viva. Prácticamente toda la materia orgánica en la biosfera actual se origina gracias a los procesos fotosintéticos mediante los cuales las plantas utilizan energía luminosa para hacer reaccionar anhídrido carbónico con agua y sintetizar sustancias orgánicas.

Las tres fuentes principales no vivas de átomos dè oxígeno son por tanto el anhídrido carbónico, el agua y el oxígeno molecular. Dado que estas moléculas intercambian átomos de oxígeno se puede considerar como un depósito común. Los óxidos minerales más corrientes tales como nitrato y sulfato, son también fuentes de oxígeno para los organismos que los reducen a amoníaco y sulfuro de hidrógeno.

Después se reoxidan y de esta manera a medida que los óxidos circulan por la biosfera intercambian sus átomos de oxígeno con el agua.

¿Cuál fue ese origen de que hablábamos hace unos momento, y cómo surgió la vida en nuestro planeta?. La atmósfera bajo la cual surgió la vida en nuestro planeta seguramente carecía de oxígeno. La baja concentración de gases nobles, como el neón y el kriptón en la atmósfera terrestre, comparada con su abundancia cósmica junto a otros datos geoquímicos, indican que la atmósfera terrestre tuvo un origen secundario en la salida de gases volcánicos del interior de la Tierra.

El oxígeno no se encuentra entre los gases liberados, de tal forma, ni tampoco como inclusión en las rocas ígneas.

La composición química de las rocas de mas de 2.000 años tampoco está de acuerdo con la presencia de cantidades significativas de oxígeno atmosférico libre antes de aquella época. Además, a los propulsores químicos esenciales de la vida, no les habría sido posible, al igual que a la vida misma, surgir y persistir en presencia de oxígeno libre antes de la evolución de las adecuadas enzimas, para el control del oxígeno.

La conclusión de tales datos es que el primer organismo vivo que tuvo que depender de la fermentación para subsistir. Las sustancias orgánicas que se originaron en reacciones no biológicas, sirvieron como sustratos para fermentacionos primigenias. Por tanto, el primer organismo no era sólo anaerobio, también era heteótrofo, ya que dependía del elemento orgánico preexistente y era incapaz de elaborar su propio elemento mediante fotosíntesis o cualquier otro proceso autónomo.

La aparición de un autótrofo fué un paso fundamental para la marcha de la evolución biológica. Este paso evolutivo dejó su paso en las rocas, tanto como en las formas vivientes. Algún eobionte, (se llaman eobiontes a las formas de vida primitivas, cuya propiedad sólo podemos imaginar), evolucionó y se convirtió en un ser autótrofo capaz de elaborar su propio alimento.

Las pruebas biológicas indican que este acontecimiento crítoco, pudo haber ocurrido hace más de 3.000 millones de años.

Una véz surgidas las enzimas reguladores del oxígeno, el oxígeno creado por las poblaciones crecientes de fotoautótrofos que contuviesen dichas enzimas, iría aumentando en el océano y comenzarían a bajar hacia la atmósfera, allí el componente ultravioleta, es decir la radiación ultravioleta de alta energía tras la reacción solar, disociaría parte del oxígeno molecular en oxígeno atómico altamente reactivo y también daría lugar a ozono de radioactividad similar.

De esta forma descrita el oxigeno libre empezó a acumularse en la atmósfera hace alrededor de 1.800 millones de años. La vida todavía en aquella epoca estaba restringida a los lugares protegidos de la radiación ultravioleta, ya fuese por las profundidades suficientes de agua o por pantallas de sedimentos; con el tiempo se acumuló en la atmósfera suficiente oxígeno como para que el ozono que absorbe intensamente las radiaciones ultravioletas," formase una pantalla contra tales radiaciones.

Los ciclos del carbóno, estudiado antes, y el del oxígeno se relacionan íntimamente a través de la absorción de energía radiante solar por el proceso denominado fotosíntesis. Es por tanto que todas las interacciones que ocurren en el ciclo del carbóno, afecten, sería, innegablemente al ciclo del oxígeno y por tanto todas las acciones humanas recientes afectan también al ciclo del oxígeno.

Posiblemente, como ya hemos comentado, la de más gravedad sea la de combustión de los combustibles fósiles que juntamente con la producción de elevadas cantidades de carbónico, son grandes consumidoras de oxígeno dislocando de alguna manera los equilibrios CO_2, oxígeno existentes, pero no hay que olvidar también que una gran acción o una gran interacción en ambos equilibrios del CO_2 y del oxígeno, supone la amplia desforestación llevada a cabo en todo el mundo y la cubrición, por la invasión demográfica, de las zonas verdes. Las dos en conjunto han conseguido disminuir en parte, una parte apreciable la cantidad de oxígeno producido por la absorción de energía solar atmosférica

en el mecanismo fotosintético; a menor cantidad de plantas, a menor cantidad de seres autótrofos, menor cantidad por tanto de oxígeno.

Es difícil preveer la magnitud de la interación humana en el ciclo del oxígeno al igual que era difícil preveerlo en el ciclo del cabono uizás lo único que pueda alegarse como argumento conservacionista sea pensar que el desarrollo de la vida en nuestro planeta ha necesitado de esos 3.000 millones de años de que hablábamos, que los niveles de oxígeno apropiados para la pervivencia de los seres vivos se realizó a partir de los 1.800 millones de años y que ya hacía los 800 millones de años se conseguía un nivel de oxígeno apropiado para el desarrollo general amplio y evolutivo de todos los seres vivos. Algo que ha tardado tanto tiempo el hombre lo disloca, lo trastorna en un período de tiempo infinitesimal de aprodimadamente unos 180 años. Baste este pensamiento para hacernos recapacitar sobre las actitudes humanas y reconsiderar el legado de la generación de nuestro siglo XX para las generaciones futuras.

EL CICLO DEL NITROGENO

El nitrógeno constituye el 79% de la atmósfera pero no puede ser utilizado directamente por la mayoría de los organismos vivos excepto por aquellos comparativamente escasos organismos capaces de hacerle pasar a una forma combinada. Una proporción pequeña pero significativa del nitrógeno atmosférico se fija gracias a fenómenos ionizantes tales como las radiaciones cósmicas, los meteoros, y los rayos que proporcionan instantaneamente la alta energía necesaria para que el nitrógeno reaccione con el oxígeno o el nitrógeno con el agua.

El nitrógeno resulta fijado también por organismos marinos, pero la fuente natural más importante de nitrógeno fijado quizás sean los microorganismos terrestres, y las asociaciones entre tales microorganismos y las plantas. Se entiende por fijado al nitrógeno incorporado en un compuesto químico utilizable por las plantas y animales.

De todas las intervenciones recientes del hombre en los ciclos de la naturaleza, la fijación industrial del nitrógeno excede con mucho a las restantes en cuanto a magnitud.

Desde 1950 la cantidad de nitrógeno fijada para la producción de fertilizantes ha aumentado en unas cinco veces hasta igualar a la cantidad que fué fijada por todos los ecosistemas terrestres antes de la aparición de la agricultura moderna. En 1960, la producción mundial de nitrógeno fijado industrialmente, se aproximó a los 30 millones de toneladas. Para el año 2.000 la fijación industrial del nitrógeno puede superar facilmente los 100 millones de toneladas.

Antes de la producción a gran escala de fertilizantes sintéticos, y de cultivo intenso de legumbres nitrofijadoras, se podía afirmar con cierta seguridad que la cantidad de nitrógeno quitada a la atmosfera por los procesos naturales de fijación, se equilibraba mediante la que devolvían a la atmósfera los organismos que convertían nitratos orgánicos en nitrógeno gaseoso.

En la actualidad no podemos estar seguros de que los procesos desnitrificantes vayan al mismo ritmo que los de fijación. Tampoco son predecibles todas las consecuencias que tendría el que la fijación de nitrógeno excediese a la desnitrificación durante un excesivo período de tiempo. Sabemos que el arrastre excesivo de los compuesto nitrogenados en las corrientes y los ríos pueden provocar flore—

cimientos de algas e intensificar la actividad biológica hasta el punto de que se agote el oxígeno disponible con la consiguiente destrucción de peces y otros organismos dependientes del oxígeno.

Esquemáticamente, el ciclo de nitrógeno es como sigue: el nitrógeno atmosférico llega hasta las células de los microorganismos y de ellas hasta el suelo donde se encuentra con el nitrógeno fijado y está a disposición de las plantas superiores y de los animales: los vegetales y animales muertos, devuelven el nitrógeno fijado al suelo. En este punto el nitrógeno puede, o bien reciclarse simplemente a través de una nueva generación de plantas y animales, o bien romperse en nitrógeno elemental y ser devuelto a la atmósfera. Este es en esencia el esquema del ciclo del nitrógeno.

Se entiende por nitrificación, a un conjunto de reacciones en las cuales unas pocas especies de microorganismos oxidan al ion amonio a nitrito o el nitrito a nitrato. Cuando los nitritos o los nitratos se reducen a compuestos gaseosos, tales como el nitrógeno molecular o el óxido nitroso, el proceso recibe el nombre de desnitrificación. Por amonificación se entiende el proceso por el cual el nitrógeno de los compuesto orgánicos se convierte en ion amónico. El proceso tiene lugar cuando los organismos saprofíticos descomponen los resto de las plantas y animales muertos.

La fijación del nitrógeno precisa una inversión de energía; antes de que el nitrógeno pueda fijarse debe ser activado, lo que significa que el nitrógeno molecular debe ser disociado en dos átomos de nitrógeno libre. Este paso requiere aproximadamente 160 kilocalorías por cada molecula de nitrógeno. El auténtico paso de fijación en el cual se combinan dos átomos de nitrógeno para formar dos moléculas de amoníaco libera unas 13 kilocalorías, por tanto los dos pasos juntos necesitan un aporte energético neto de aproximadamente 147 kilocalorías. Sin embargo no se sabe si los organismos nitrificados convierten realmente esta cantidad de energía.

Una véz que el amoníaco o el ion amonio aparece en el suelo puede ser absorbido por las raíces de las plantas y el nitrógeno puede incorporarse a los aminoácidos y después a las proteínas. Si la planta es ingerida por un animal, el nitrógeno podrá resultar incorporado a una nueva proteína. la cual en cualquier caso vuelve al suelo, donde se descompone generalemente con ayuda de las bacterias en los aminóacidos que la formen. Es necesario para eso que en el suelo haya abundantes microorganismos capaces de oxidar a los aminoácidos , anhídricos carbónico, agua y amoníaco.

Los microorganismos denominados Nitrosomonas emplean la nitrificación del amonio como única fuente de energía. Los Nitrosomonas pertenecen al grupo de microorganismos llamados autótrofos, que pueden vivir y tener una fuente orgánica de energía. Los fotoautótrofos como las Nitrosomonas, obtienen energía a partir de compuesto inorgánicos.

Otro grupo especializado de microorganismos representados por Nitrobacter son capaces de extraer energía adicional de nitrito producido por Nitrosomonas.

En el suelo además hay varios tipos de bacterias desnitrificantes, que aún viviendo en ausencia de oxígeno son capaces de utilizar el ion nitrato o el nitrito como aceptores para la oxidación de compuestos orgánicos. En estas reacciones la producción de energía es tan grande como lo sería si el agente oxidante fuese oxígeno puro.

El conocimiento más profundo de ciclo biológico del nitrógeno descubrió el importante papel de las bacterias desnitrificantes. Sin tales bacterias para devolver el nitrógeno a la atmósfera, la mayor --

parte del nitrógeno atmosférico estaría ahora en los océanos o enterrado en los sedimentos.

Por supuesto que no existe suficiente oxígeno en la atmósfera actual para convertir todo el nitrógeno libre a nitratos. Cabe imaginar sin embargo que si se desarrollase un proceso irreversible en ausencia de bacterias desnitrificantes, el aumento de nitratos en el océano haría aumentar ligeramente la acidez del agua del mar y comenzaría la liberación del anhídrido carbónico procedente de rocas carbonatadas. El anhídrido carbónico sería tomado por las plantas y si el carbón se depositase entonces como el carbón u otros hidrocarburos el oxígeno restante quedaría disponible en la atmósfera para combinarse con nitrógeno. Dado el gran número de variables implicadas en el proceso, es difícil suponer como sería el mundo sin la desnitrificación, pero evidentemente sería distinto.

Para terminar el comentario sobre el ciclo del nitrógeno insistiremos nuevamente, sobre el desequilibrio que se produce entre la cantidad de nitrógeno absorbida de la atmósfera por los procesos industriales, la retornada por medio de los microorganismos que hemos estudiado. Este desequilibrio desconocido todavía, y de efectos también desconocidos, no por eso es menos importante y digno de estudio.

La fuente más importante de nitrógeno fijado son probablemente las leguminosas, son desde luego las más importantes desde el punto de vista agronómico y por lo tanto las más estudiadas.

La entrada de nitrógeno procedente de los simbiontes microbianos, de la alfalfa y otras leguminosas, pueden alcanzar fácilmente los 350 kilogramos por hectárea, aproximadamente 100 veces el valor anual de fijación obtenible por los organismos no simbióticos en un ecosistema natural. De aquí se deduce que si de alguna manera se quiere restablecer el ciclo de nitrógeno por un lado habría que disminuir la producción de nitrógeno industrial, lo cual es ciertamente difícil y por otro lado habría que promocionar intensivamente los cultivos de leguminosas que disminuirían de alguna manera la necesidad de consumo de nitrógeno producido industrialmente.

LOS CICLOS DE NUTRIENTES SEDIMENTARIOS

Se denominan nutrientes sedimentarios, aquellos nutrientes esenciales tales como el azufre, el fósforo, etc., normalmente carentes de fase gaseosa y en los cuales hay menos mecanismos autorreguladores y más etapas en las cuales pueda producirse un estancamiento durante períodos más o menos largos de tiempo.

De los nutrientes sedimentarios, hablaremos muy brevemente sin que esto signifique que su importancia en los fenómenos biológicos sea pequeña; muy al contrario, recientemente se han descubierto funciones biológicas en las que estos nutrientes aedimentarios, intervienen a modo de catalizadores de determinadas reacciones funcionales. Para no alargar excesivamente esta clase, hablaremos exclusivamente de los ciclos del azufre y del fósforo.

EL CICLO DEL AZUFRE

Aunque algunos organismos obtienen el azufre que necesitan de formas orgánicas tales como los aminoácidos y cisteinas, el sulfato inorgánico es la principal fuente de azufre biológicamente importante. La mayor parte del azufre incorporado biológicamente es mineralizado por bacteria y hongos en la descomposición ordinaria, por especies tales como Aspergillus y Neurospora entre otras. Sin embargo en condiciones anaerobias algunas bacterias pueden reducirlo directamente de sulfuros incluso

del sulfuro de hidrógeno. También pasa a la atmósfera cierta cantidad de azufre orgánico en forma de dióxido de azufre, que resulta de la combustión de los combustibles fósiles, siendo este aporte de sulfuroso causa principal de la contaminación del aire.

El azufre inorgánico en forma de sulfato puede precipitarse, pero como es ligeramente soluble, actúa en muchos ecosistemas como fuente de azufre elemental. El sulfato también se reduce en condiciones anaerobias a azufre elemental o a sulfuros por la acción de bacterias heterótrofos. La presencia de grandes cantidades de sulfuro de hidrógeno en las zonas anaerobias de los ecosistemas acuáticos, es nociva para casi todas las formas de vida.

La fase sedimentaria del ciclo corresponde a la precipitación del azufre en condiciones anaerobias y en presencia de hierro; el sulfuro ferroso es insoluble en agua neutra o alcalina y en consecuencia el azufre puede ser fijado, en esas condiciones, hasta el límite de la cantidad de hierro presente.

El ciclo del azufre es como sigue: La materia orgánica tanto viva como muerta o fosilizada por combustión, pasa a sulfuroso atmosférico. La mineralización de la materia orgánica muerta, produce los sulfatos inorgánicos; una reducción y posterior disolución de estos sulfatos inorgánicos, tiene como consecuencia la producción de azufre elemental o sulfuros como el de hidrógeno o metálicos, etc., una oxidación de este azufre o de estos sulfuros produce nuevamente los sulfatos inorgánicos.

La similación directa de aminoácidos, de los sulfatos inorgánicos y de los sulfuros conduce nuevamente al azufre hacia la materia orgánica viva; de esta manera queda cerrado el ciclo del azufre siendo necesario recordar que hemos empezado este ciclo partiendo de la materia orgánica viva, como movimiento no sedimentario llegando hasta los sulfuros y sulfatos como etapa sedimentaria del ciclo. El dióxido de azufre atmosférico, y los sulfurosos atmosféricos por precipitación, pasan nuevamente al ciclo sedimentario bien en forma de sulfatos o en forma de sulfuros.

EL CICLO DEL FOSFORO

El fósforo es uno de los nutrientes más importantes de los sistemas biológicos. Se presenta como constituyente de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos y de otros muchos compuestos fosforados. Tiene una gran importancia ecológica por ser probablemente el elemento limitante regulador de la productividad debido a que la proporción del fósforo en los organismos comparada con la de otros elementos suele ser mucho mayor que la proporción de fósforo en sus fuentes primarias.

Las plantas requieren para su nutrición fosfatos inorgánicos, típicamente en forma de iones ortofosfóricos. Como ocurre en los ciclos minerales este fosfato es trnasferido a los consumidores y descomponedores como fosfato inorgánico quedando después disponible para reciclarse por medio de la descomposición mineralizadora.

Gran parte de este fosfato se pierde para este ciclo por procesos físicos como la sedimentación que lo aparta de las corrientes ascendentes del ciclo. También ciertos procesos biológicos, como la formación de dientes y huesos, muy resistentes a la destrucción por la acción atmosférica, son causa de pérdidas considerables en la parte del ciclo.

Para terminar, recordaremos que hemos hablado y definido los ecosistemas y los flujos de ener-

gía que sobre ellos inciden haciendo posible junto a los elementos y compuesto que forman los ciclos biogeoquímicos la vida en nuestro planeta. Una vida que depende, entre límites muy estrechos, de la fidelidad con que estos ciclos naturales biogeoquímicos, se manifiestan, para que los organismos puedan captar la única fuente de energía exterior. Este equilibrio natural se ve seriamente amenazado -- por la intervención del hombre, que olvida con suma facilidad, que él es nada más que un organismo entre los muchos que habitan la Tierra y que al igual que los demás su vida, su pervivencia, depende de que estos delicados equilibrios no se alteren de modo irreversible.

5.3.- EL FLUJO DE INFORMACION: RITMOS, FLUCTUACIONES, SUCESION

El ecosistema además de venir caracterizado por un intercambio de materiales y energía con el medio, recibe y procesa cualquier variación ambiental que sobre él incide, provocando un contínuo proceso de cambio a lo largo del tiempo. Esta variaciones se aprecian ya a nivel población en muchas - de las especies constituyentes, unas veces como cambios periódicos que afectan solo a la distribución y actividad de los individuos (ritmos internos) y otras, como variaciones demográficas más o menos irregulares (fluctuaciones).

La aparición de ritmos internos se debe a la incidencia periódica de cierta información procedente - del entorno: ciclos nictemerales (día/noche), acortamiento o crecimiento del día o de la noche a lo -- largo del año, estacionalidad, mareas, etc. Las respuestas son múltiples: numerosas especies marinas tienen su actividad sexual acoplada a ciclos lunares; en el plancton se producen migraciones verticales ligadas a ritmos nictemerales; casi todas las especies animales y vegetales mantienen también algún ritmo día/noche, que no siempre alcanzan su máximo de actividad durante el día; la diapausa - en los insectos, el letargo de yemas invernales en fanerófitos caducifolios o el estado de semilla en las plantas terófitas, son ritmos ligados a la existencia de una estación desfavorable al cabo del año. La recepción de la información viene a veces a través de mecanismos fotoperiódicos, otras a través de variaciones termométicas, horas de frío acumuladas, etc.

Las fluctuaciones en el tamaño de las poblaciones, obedecen también a diversos motivos a) acontecimientos violentos que inciden bruscamente, como vulcanismo, fuegos forestales, inundaciones; b) oscilaciones climáticas, más o menos periodicas, con inviernos rigurosos o periodos de sequía, elevación de las temperaturas medias cada cierto número de años, glaciaciones; c) enfermedades; d) estacionalidad; e) relaciones y transmisión de las fluctuaciones a través de los sitemas presa-predator; etc. Veamos algunos ejemplos:

- En nuestras costas mediterráneas, tras los inviernos más fríos -que tienen una periodicidad aproximada de siete años- aparecen períodos de gran fertilidad fitoplanctónica y por lo tanto pesquera. Tal. efecto se debe a que el descenso de las aguas frías costeras hacia los fondos, produce un reciclaje de nutrientes con la ascensión de aguas más cálidas cargadas de elementos minerales proce-- dentes de las capas inferiores.

- Tras los otoños secos, en las regiones de clima mediterráneo, con la inexistencia de rebrote -- otoñal en los pastizales, aparecen grandes mortandades en los herbívoros y como consecuencia, también entre los carnívoros. Sin embargo el sistema se reajusta al llegar después temporadas más normales desde el punto de vista climatológico y con una menor presión de predación. Al cabo de varias temporadas vuelven a restablecerse las poblaciones equilibradas.

- En estas mismas regiones mediterráneas, el fuego ha sido siempre un acontecimiento caracterizado por una cierta probabilidad, al que han llegado a adaptarse ciertas formaciones vegetales e incluso - necesitar parcialmente de él como sistema de controlar el matorral y reciclar los materiales acumulados en forma de biomasa inactiva.

- En ocasiones las causas de fluctuación provocan explosiones demográficas de determinadas especies. En muchos casos la importancia de estas fluctuaciones en la evolución, es muy considerable, al posibilitarse rápidos desarrollos de unos cuantos genotipos que realizan un intento de expansión y estabilizada pero en las que se guarda todo el patrimonio genético del taxon. Esto puede ser de gran trascendencia en el estudio de las plagas y enfermedades agrícolas, puesto que el conocimiento y control de las causas de tales fluctuaciones, puede resultar más rentable que la lucha intensiva contra la especie dañina una véz que ésta ha sufrido la explosión.

- En los lagos de las regiones templadas aparecen fluctuaciones estacionales en las poblaciones de las especies fitoplanctónicas. Durante el verano, el calentamiento de las capas de agua superficiales (menor densidad) las aisla de la masa de agua subyacente que queda a merced del O_2 disuelto, sin posibilidad de renovación y recibiendo por sedimentación la materia orgánica procedente del fitoplancton muerto en la capa superficial. Hacia ésta queda interrumpido el reciclaje de nutrientes desde el fondo, con lo que al final del verano ha disminuido mucho la productividad. Además, y si la reserva de O_2 en las capas inferiores no es suficientemente grande, pueden aparecer en ellas fenómenos de anaerobiosis. Con el enfriameinto otoñal se produce de nuevo la mezcla de aguas al aumentar la densidad de las capas superficiales. En la primavera puede producirse otra movilización según que la - temperatura del agua superficial esté por encima o por debajo de los 4ºC (diferencia entre lagos dimícticos y monomícticos).

Mas, el ecosistema no se limita a estas pequeñas variaciones en el tiempo, sino que todo él se encuentra comprometido en un fenómeno de cambio mucho más amplio y completo. A través de él, el sistema se reajusta y adapta continuamente y de forma progresiva, a un medio ambiente que desde el punto de vista geológico del tiempo, tampoco permanece invariable. El proceso (sucesión ecológica) avanza en dirección y de forma asintótica hacia un estado utópico de máxima estabilidad, poder de autorregulación, complejidad, eficiencia y rentabilidad (en el sentido de producir solo lo que es necesario, lo que llegará a ser respirado.) Esta situación más o menos teórica recibe el nombre de climax y las etapas atravesadas fases sucesionales.

Cuando la sucesión camina hacia la climax puede hablarse de proceso de reconstrucción o de sucesión primaria, según los casos. Si lo hace en sentido contrario, de regresión.

A lo largo de la sucesión hay una serie de atributos macroscópios, susceptibles de ser medidos y observados, que van cambiando paulatinamente y que permiten ser utilizados como criterios de determinación de la fase de reconstrucción o de regresión en que nos encontramos, y de la dirección del proceso. Para resumir y esquematizar estos atributos hemos recogido, con pequeñas modificaciones, un cuadro debido a E. ODUM (1969), en el que se indica también la forma de variación de tales parámetros, comparando su valor en las etapas iniciales y finales de la sucesión. Dejamos su comentario para la labor didáctica de la clase.

Concepto de Explotación

Conviene comentar el término de "explotación" a través del prisma ofrecido por la sucesión, Como

puede observarse en el cuadro resumen de atributos cambiantes en la sucesión, al avanzar ésta -- hacia etapas más maduras, la biomasa sigue aumentado continuamente, mientas que a partir de un cierto momento la productividad bruta disminuye (figura, 3.5.4.). Con el tiempo, biomasa, producti vidad (bruta y neta), respiración y diversidad tienden a equilibrarse y a permaner estables (en la climax). En la figura, 3.5.6., la región sombreada indica la diferencia entre lo que se produce y - lo que se respira, es decir la producción neta. Significa también un cierto límite para la explota- ción (o extracción de biomasa del sistema) por parte de agentes externos o internos.

El término de explotación no debe entenderse exclusivamente, desde un punto de vista antropocén- trico, como la extracción humana de unos recursos pertenecientes a los sistemas naturales, ya que el concepto puede ser ampliado a un gran conjunto de factores absolutament consustanciales con la Naturaleza (fuego, erosión, depredación pastoreo, inundaciones, contaminación, radiación ionizante, etc). Con la explotación, disminuye la madurez del sistema. El bentos explota la biomasa continua mente sedimentada del plancton; la erosión edáfica explota la comunidad vegetal establecida, al ro barla un cierto porcentaje de nutrientes; el fuego extrae parte de la energía acumulada en el bos- que. Los sistemas explotados permanecen en fases de baja madurez, que corresponden a situacio nes iniciales de la sucesión (agroecosistemas, cultivos sincrónicos, plancton, estuarios, ...)

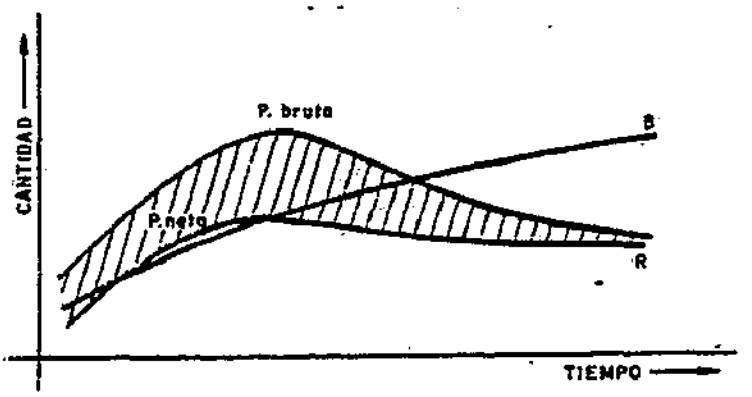


Fig. : 3.5.6 - Variación de la biomasa, producción neta y bruta y respiración a lo largo de la sucesión. Rayado: la Producción neta (ODUM)

Un "agroecosistema" de tipo dehesa puede considerarse como un modelo especialmente equilibrado de explotación del medio. El elevado número de especies interaccionantes, la conservación de la estructura y biomasa y el reciclaje de bioelementos dan una gran estabilidad al sistema. Foto J. E. Hdez. Bermejo.

Atributos	Fases iniciales	Fases maduras
Energéticos y estructurales		
1. - Produc. bruta/respiración (P/R)	mayor o menor que 1	alrededor de 1
2. - Produc. bruta/biomasa (P/B)	alta	baja
3. - Producción neta	alta	baja
4. - Cadenas tróficas	lineales, predominantemente herbívoras	entrelazadas, predom. detritívoras
5. - Materia orgánica total	poca	mucha
6. - Nutrientes inorgánicos	extrabióticos	intrabióticos
7. - Diversidad de especies	baja	alta
8. - Diversidad bioquímica	baja	alta
9. - Estratificación y heterogeneidad espacial	pobremente organizada	bien organizada
Históricos		
10 - Grado de especialización de nichos	incipiente	finamente conseguida
11 - Tamaño de organismos	pequeño	grande
12 - Ciclos vitales	cortos, simples	largos, complejos
Relacionados con los ciclos de nutrientes		
13 - Ciclos minerales	abiertos	cerrados
14 - Intercambio de nutrientes	rápida	lenta
15. Papel de los detritus en la regeneración de nutrientes.	poco importante	muy imortante
Relacionados con la presión de selección		
16 - Formas de crecimiento	exponencial	control por retroalimentación
17 - Producción	en cantidad	en calidad
Relacionados con la homeostasis del ecosistema		
18 - Simbiosis interna	poco desarrollada	desarrollada
19 - Conservación de nutrientes	pobre	buena
20 - Estabilidad	pobre	buena
21 - Entropia	alta	baja
22 - Información	baja	alta