11.2.0
MAN
Vol. I

MANUAL DE INGENIERIA AMBIENTAL I

Dirección y diseño:

Elena Castro Martínez

Domingo Jiménez Beltràn

R. 1727

FUNDACION E.C.
C.I.F. G-81/6349
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 Espínosa, 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 aplicación 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, incluidos 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. - Autonomía. - 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. - Desarrollo energías alternativas. - Solar, eólica... - Bioenergía-Agroenergía.	- Tratamiento integral en fases de Planificación - Optimización ambiental de Planes energéticos. - Integración contexto local. - Uso de residuos (cenizas, calores residuales...) - 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.).

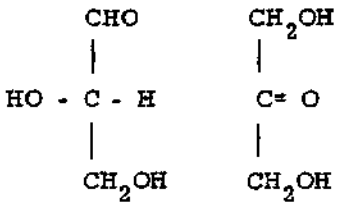
Los compuesto orgánicos son aquellos en los que los enlaces principales de la molécula son de carbono-carbono y carbono-hidrógeno. Exísten cuatro grupos principales de compuestos orgánicos que se hallan presentes en la mayoría de las células y forman la base química de la materia viva: hidratos de carbono,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

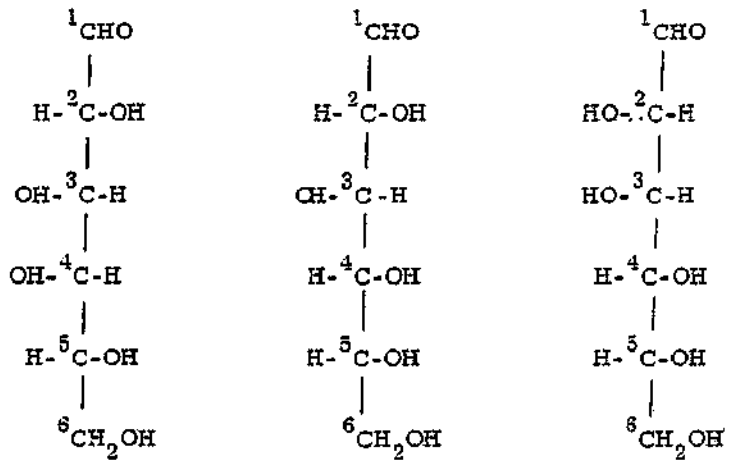


L. gliceralelehido dihidroxicetona

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 (esteroisomería).

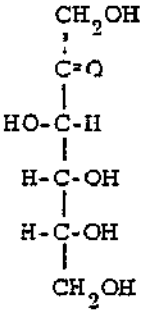
Así galactosa y glucosa tienen estructuras idénticas, a excepción de la disposición espacial del H y OH unidos al carbono 4 y manosa y glucosa difieren en el carbono 2. Ello da lugar a otros azúcares



D. Galactosa D. Glucosa D. Manosa

distintos con diferentes propiedades químicas y físicas.

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



D. fructosa

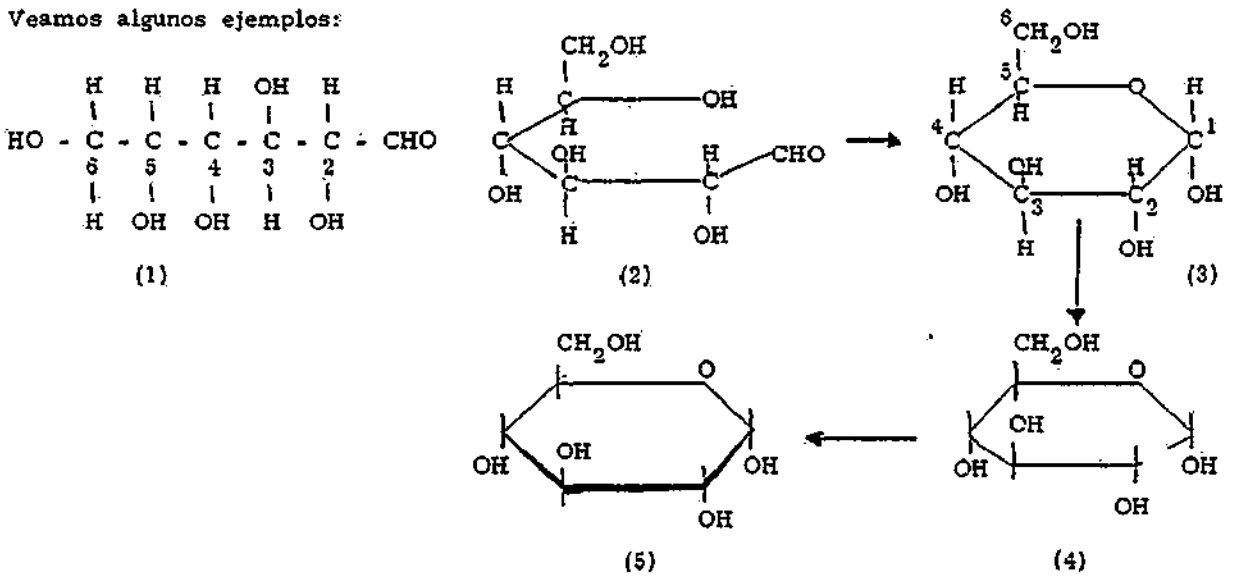
Los azucares pueden representarse de diferentes maneras:

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.

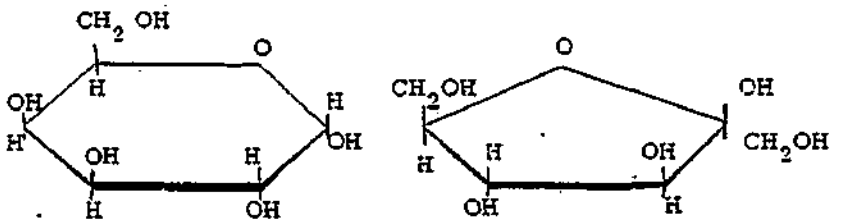
2) La formúlación en anillo cerrado. Esta estructura resume más exactamente las propiedades de los azúcares y a ella responden el 90% de los azúcares celulares. Su existencia se debe al hecho de que los azúcares no se comportan como aldehidos, como hacía suponer su fórmula lineal, sino más bien como hemiacetales y ello es debido a que el grupo aldehído en el carbono 1 y el grupo hidroxilo 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:



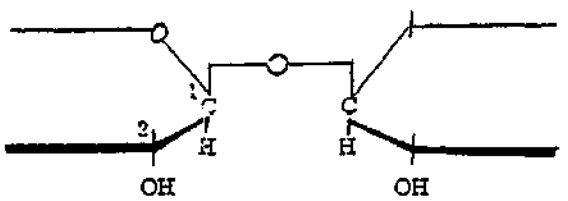
Estructuras representativas de la D-glucosa: (1) forma lineal en cadena habierta; (2) forma intermedia en la formación de anillo; (3) forma de anillo en la que se muestran todos los carbonos; (4) forma de anillo abreviada (5) forma de anillo abreviada en perspectiva.



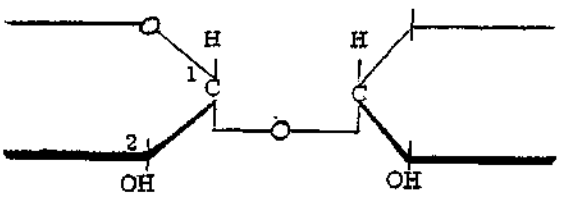
D- galactosa
(forma piranosa)

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 olisosacáridos 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, aun que también D. fructosa, D. galactosa y otras hexosas se encuentran como unidades básicas de los polisacáridos.

Las característas 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 residuos 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:

$$\begin{array}{l} R - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - CH_2 \\ R' - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - \overset{|}{CH} \\ R'' - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - \overset{|}{CH_2} \end{array}$$

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.

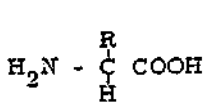
El carotenoide que se encuentra con mayor abundancia en los tejidos de las plantas, es un pigmento amarillo anaranjado, el β-caroteno que suele ir acompañado de cantidades variables de α-caroteno.

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:



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 carboxilo 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 variar 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 aminoácidos, 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.

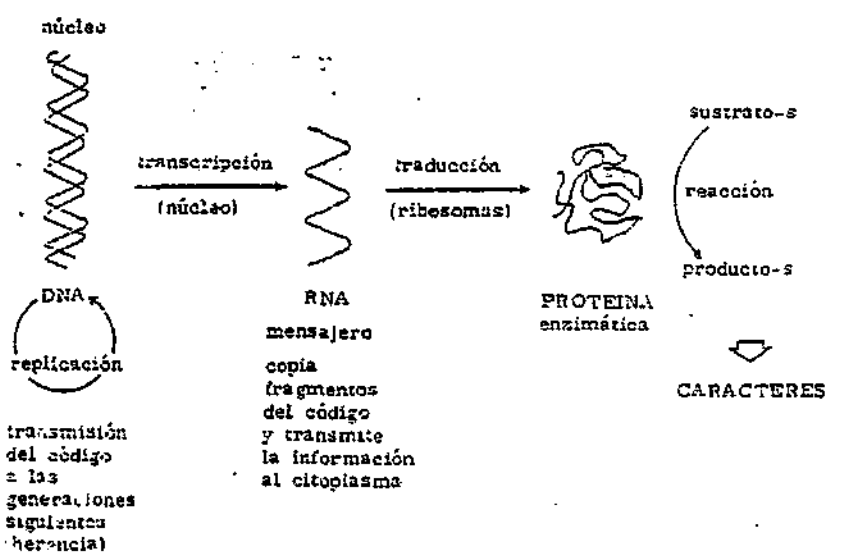


FIGURA 2.1.2. - Esquema del flujo de información a través de los ácidos nucleicos para construir las proteínas.

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:

bases purínicas	ADENINA	TIMINA
	GUANINA	CITOSINA

bases pirimidínicas

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.

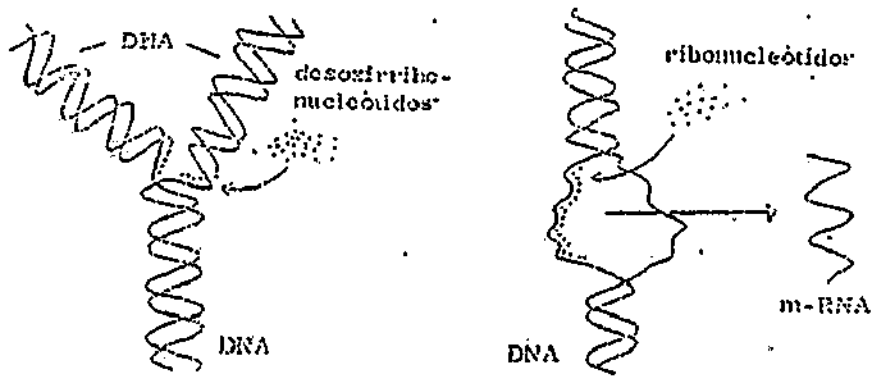


Figura 2.1.2. - Esquema de la replicación del DNA y de la transcripción.

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 aminoácisо, 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.

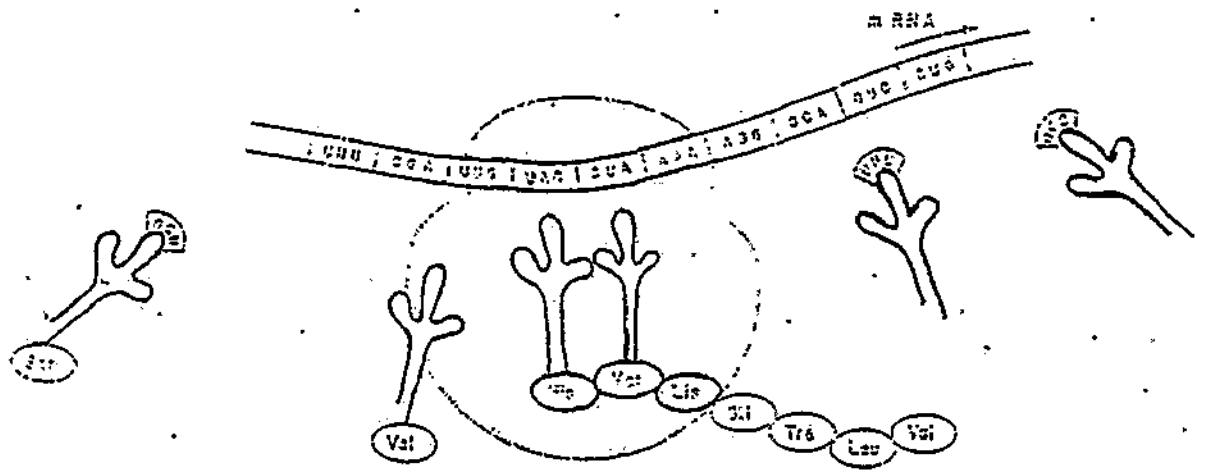


Figura 2.1.3.- Esquema de la síntesis de proteínas en el ribosoma. Cada aminoácido llega al ribosoma unido al correspondiente RNA transferente. Este se coloca frente a la triplete complementaria del RNA mensajero.

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 donde 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.

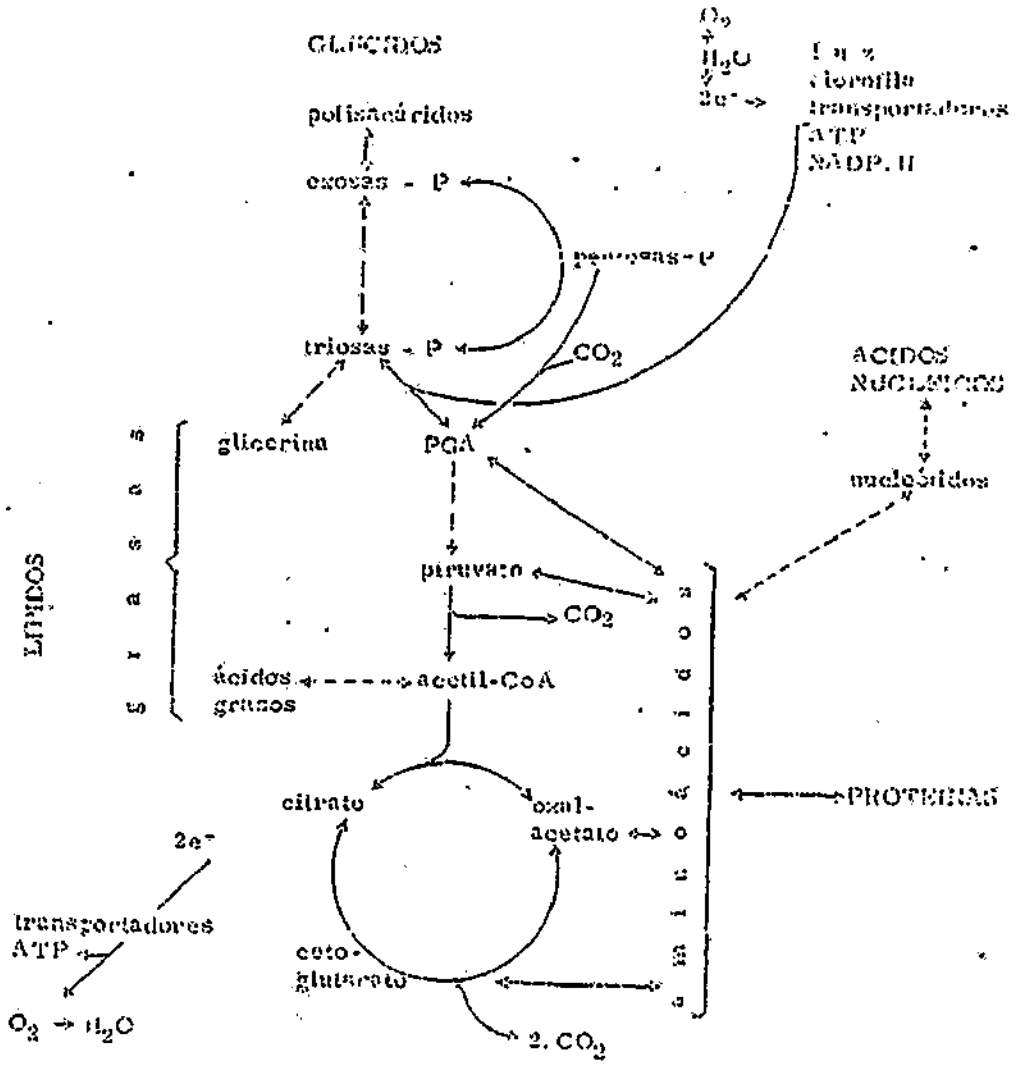


Figura 2.2.1 - Esquema resumen de los principales pasos que constituyen el metabolismo celular. En las células eucarióticas, la fotosíntesis ocurre en los cloroplastos, el ciclo de Krebs y la degradación de las grasas en las mitocondrias, la síntesis de proteínas en los ribosomas, la glicolisis, síntesis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

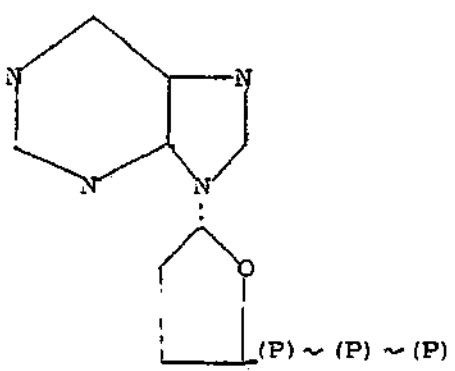
Realizada la transferencia, el dador queda oxidado y el aceptor reducido. Oxidar una sustancia equivale pues a utilizarla como dador.

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	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
luz: 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 compuestos 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.

Cominando 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 situación.

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 ali-- mentos hasta un compartimento interior -vacuolas digestivas en los unicelulares, aparato digestivo en los pluricelulares - donde se localiza aquella función, pero que topológicamente sigue pertene- - ciendo en realidad al exterior del cuerpo.

Las sustancias que resultan de la digestíon pasan a ser absorbidas a través de la membrana celu— lar, 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).

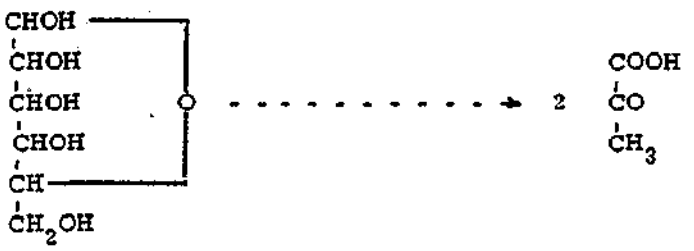
Por asimilación se entiende la incorporación de las moléculas absorbidas a la propia materia. En general implican reacciones de síntesis donde se consumen cantidades variables de energía. Los monosacáridos volverán a formar polisacáridos, los ácidos grasos y la glicerina grasas y los aminoacidos, proteínas. 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.

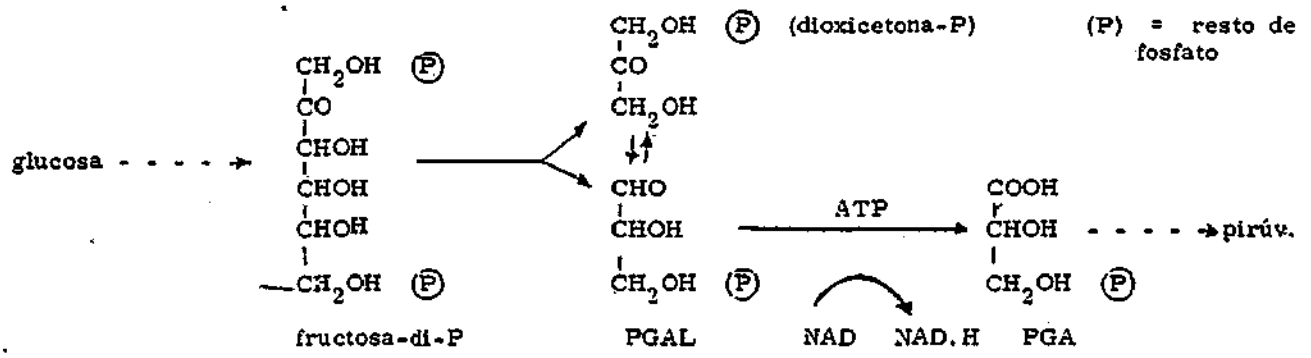
Los cambios metabólicos dirigidos a la producción de energía, se conocen bajo el nombre de respiración.

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:

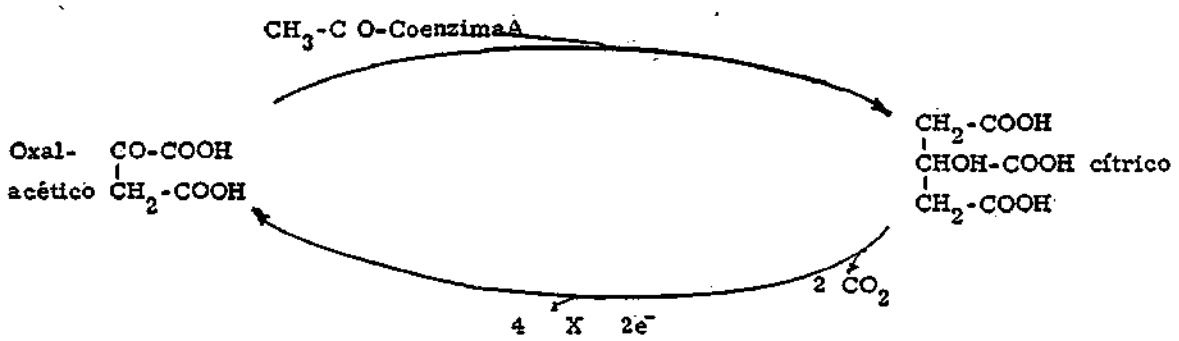
Dador inicial ⟶ NAD ⟶ FAD ⟶ Ubiquinona ⟶ Citocromo b ⟶

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.

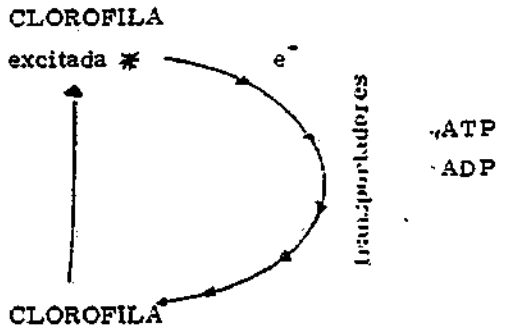


Figura 2.2.2.- Esquema de la fotofosforilación cíclica

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:

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

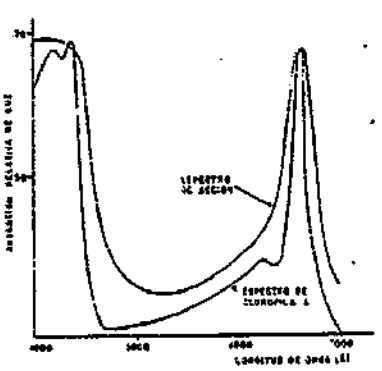
Esta expresión viene a ser la inversa de la que se obtendría al resumir el conjunto glicolisis-ciclo de Krebs en una sola ecuación. Las reacciones intermedias, también muy complicadas en este caso, son en gran parte diferentes para ambos procesos.

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.



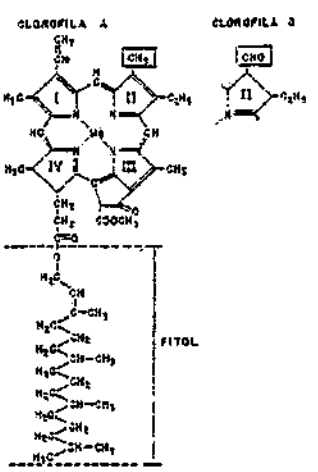


Figura 2.2.4.- Estructura molecular de la clorofila

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, bacteriocloroflla, 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.

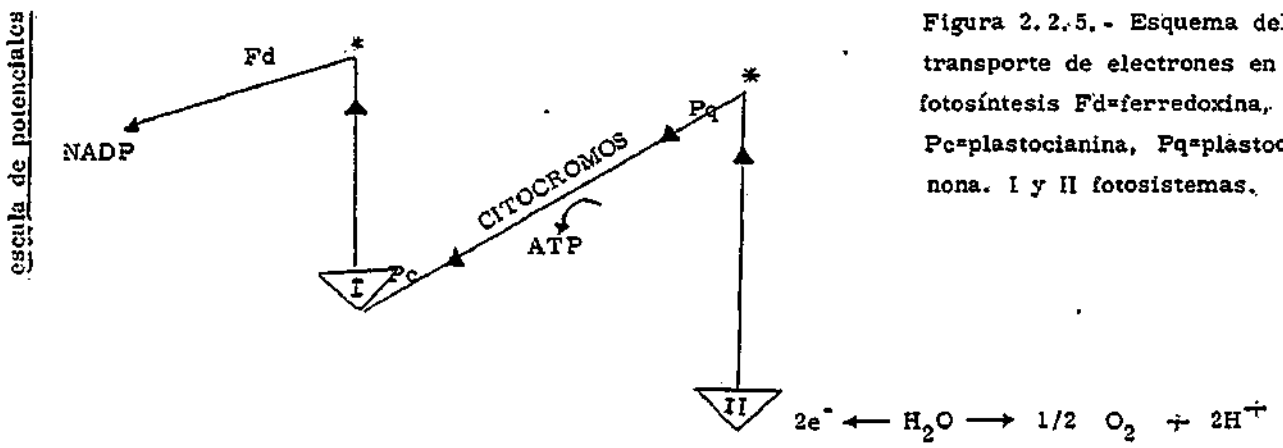


Figura 2.2.5.- Esquema del transporte de electrones en la fotosíntesis Fd=ferredoxina, Pc=plastocianina, Pq=plastoquinona. I y II fotosistemas.

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.

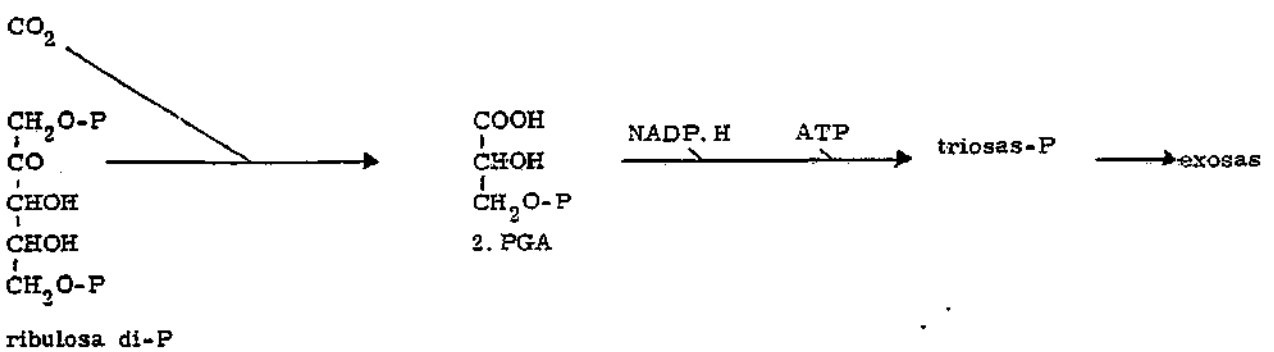
Por consumirse electrones en la formación de NADP.H es obvia la necesidad de una fuente externa que los suministre. Las bacterias sulfurosas los extraen del ácido sulfhídrico, dejando azufre elemental como subproducto. Estras bacterias fotosintéticas son siempre anerobias.

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.

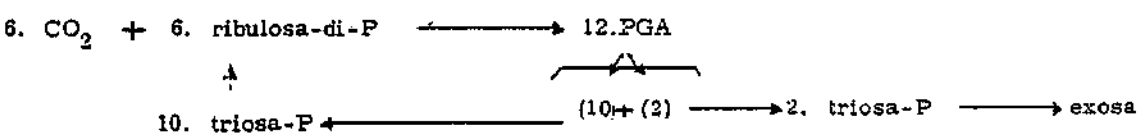
En las reacciones oscuras, el ATP (energía) y NADP.H. (poder reductor) procedentes de las luminosas, se emplean para fijar y reducir el CO_2 atmosférico hasta formar hidratos de carbono. Existen por lo menos tres modalidades bioquímicas para la fijación de CO_2.

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.

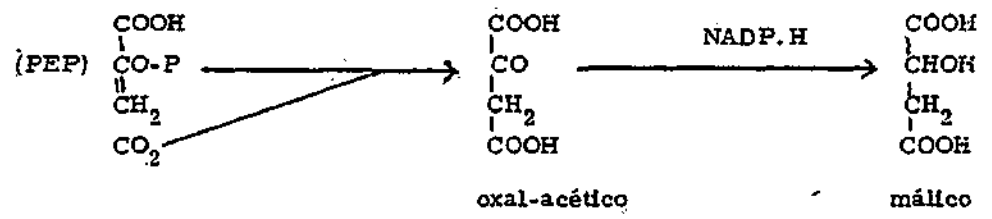
La gran mayoría de los seres foto-autótrofos fijan el CO_2 sobre una molécula de ribulosa (pentosa) di-fosfato dando un compuesto de adición de vida muy corta que se resuelve en dos moléculas de PGA. En la reducción del PGA a PGAL (!reaci inversa de la que ocurre en la glicolisis!) intervienen el ATP 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 <u>fotorrespiración</u> 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.

- <u>Seres quimio-autótrofos</u>

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.

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

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

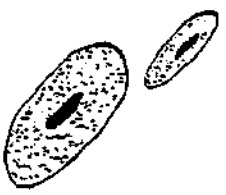
2.2.1.- Mitosis

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.

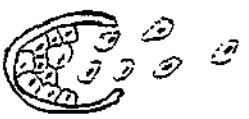
Cuando se divide el núcleo de las células eucarióticas, ocurren en cambio fenómenos muy conspicuos al microscopio óptico. Por un lado, aparece el huso acromatico o aparato mitótico, sistema de fibrillas que se forma a partir del centrosoma. Por otro, los cromosomas se hacen visibles, debido a que se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

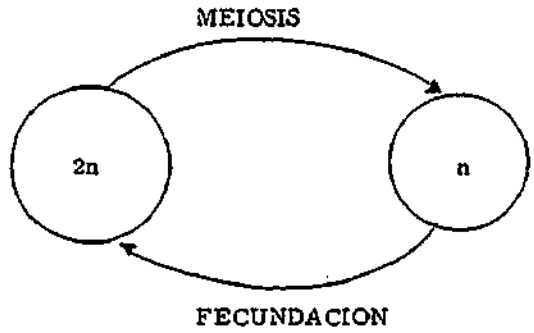
veniente. Cualquier variación perjudical en el medio ambiente (un descenso de temperatura, un aumento de salinidad, la presencia de un parásito, etc.) afectaría por igual a todos los individuos. Así, una población compuesta por individuos iguales está, en general, mucho más expuesta a la extinción. Cuando 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.

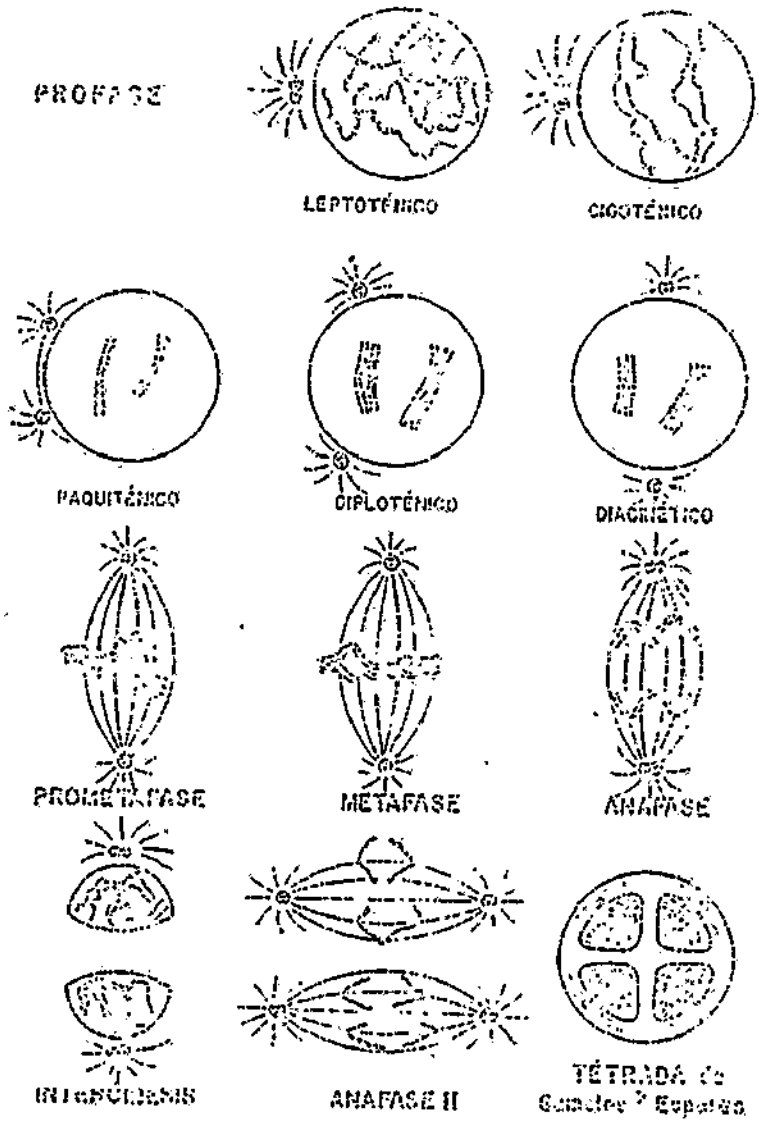


Figura 2.2.6.- Fases de la meiosis. Después de dos divisiones celulares consecutivas- en la primera de las cuales se han apareado previamente los cromosomas homólogos- se llega a cuatro células con la mitad del número de cromosomas que tenía la célula original.

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 beniganamente 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 mencionados 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 coloniar 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. Peneroplix 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 scuras 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 dependencá 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. Alternancia de generaciones.
Cámbrico		
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).

Div siones 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 clórofilas 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 vascualres.

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 enumeran los veintitrés tipos en que modernamente 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 que 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).

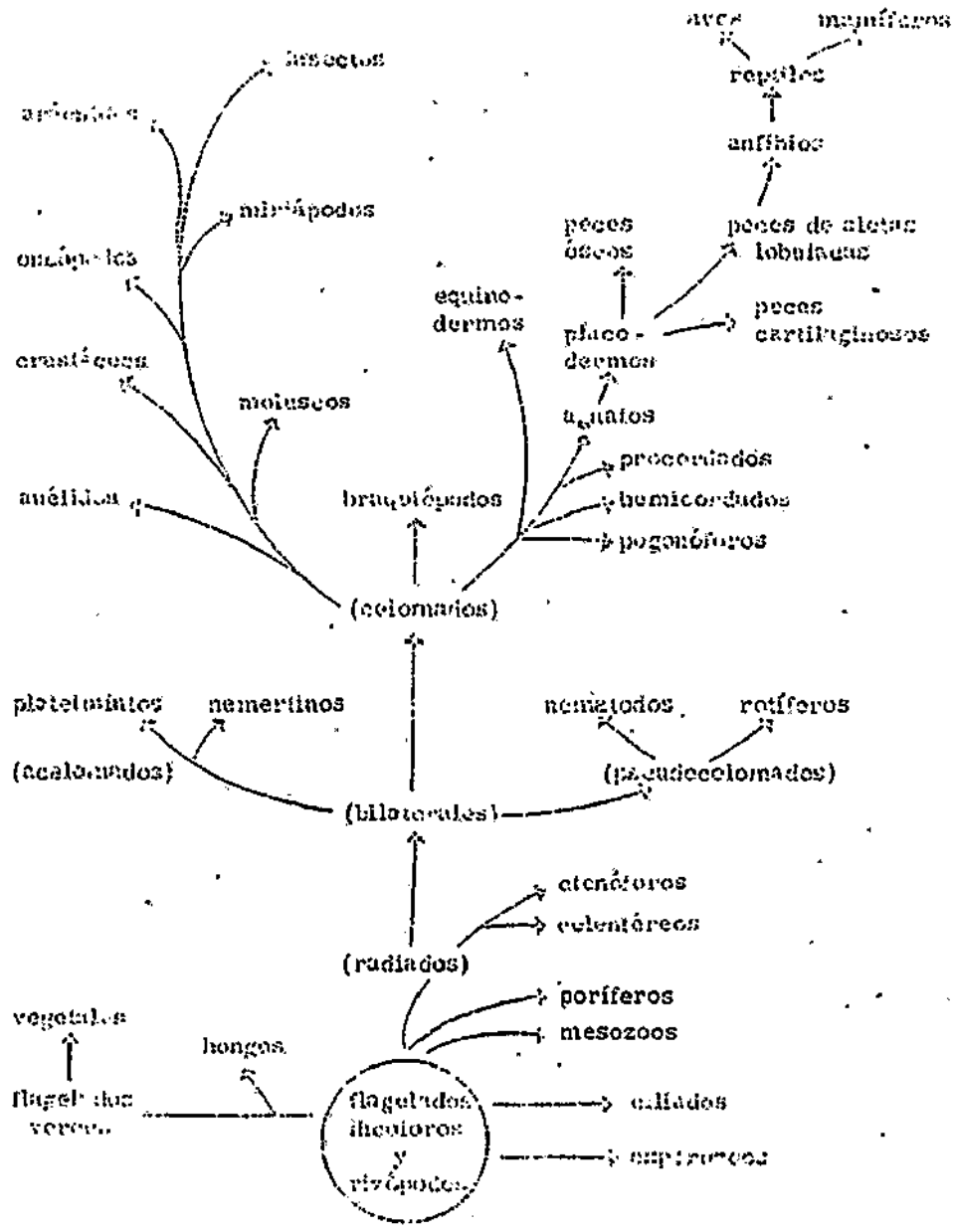


Figura 3.6.1.- Relaciones filogenéticas probables entre los principales grupos de animales.

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 écologo 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 contínua 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.

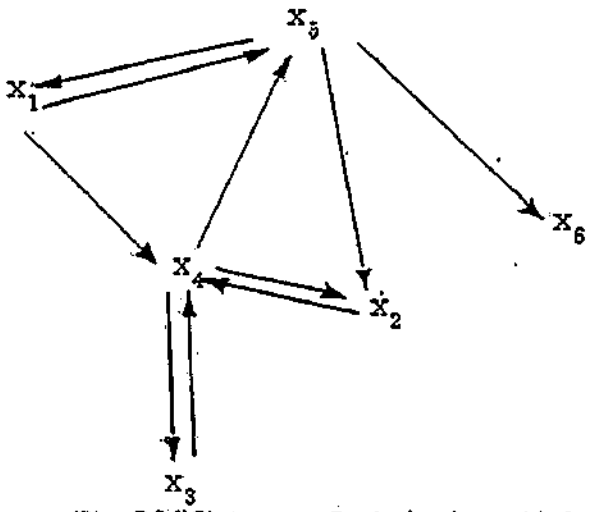


Fig. (3.2.1) Sistema : Conjunto de entidades interaccionantes.

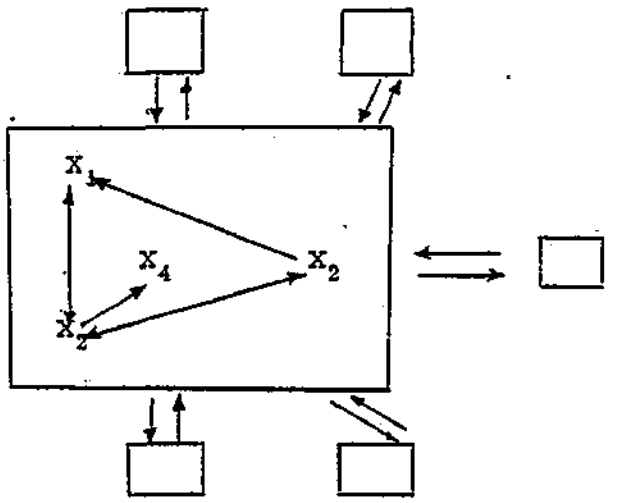


Fig. (3.2.2) Sistema abierto

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, pue-- den 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 fin en la preparación de pocos individuos, difíciles de capturar por su baja frecuencia o por su mejor dotación y preparación para la defensa.

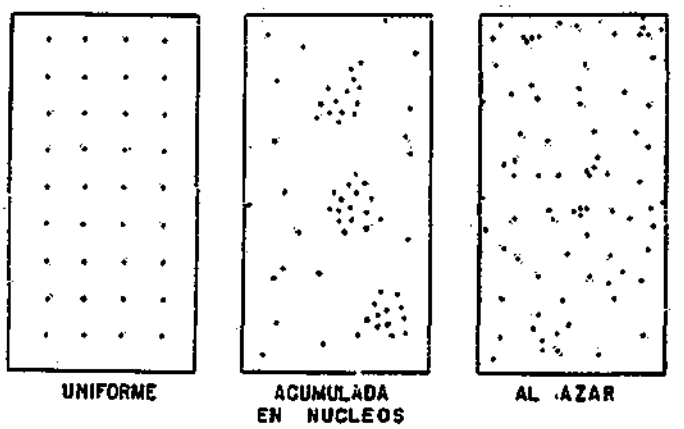


Fig.: 3.3.1 - Diferentes estructuras de distribución espacial de una población

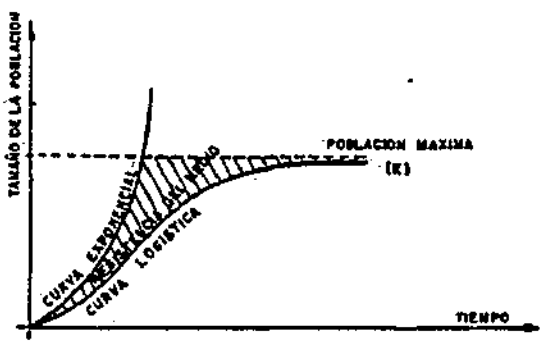


Fig.: 3.3.2 - Curvas teóricas de crecimiento de una población

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 Africa 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, puesto que utiliza muy preferentemente unas cuantas especies vegetales muy concretas como el Taraxacum dens-leonis y la Achillea millefolium.

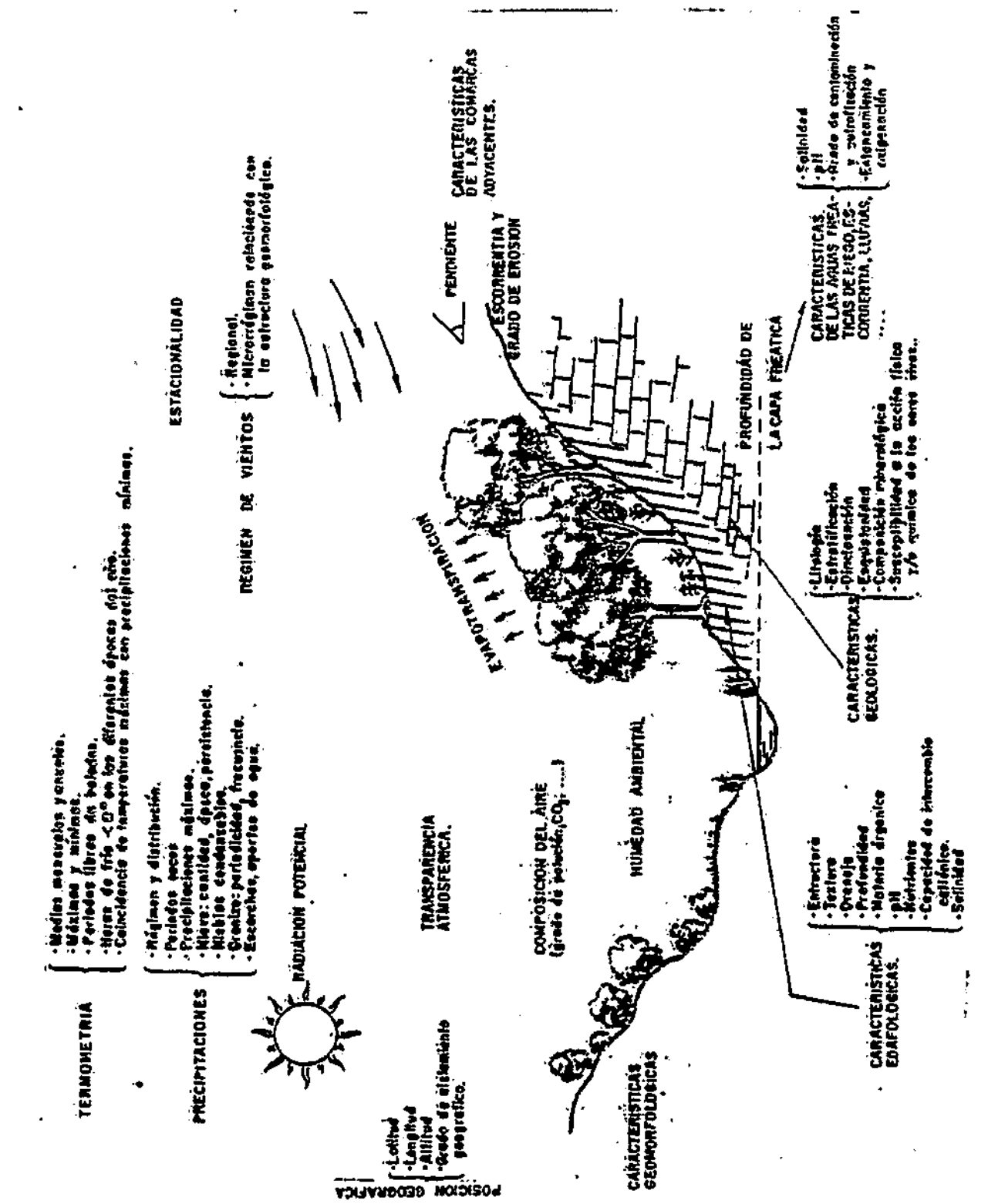


Fig. 3.3.4.- Principales factores ambientales que actúan sobre las comunidades y especies biológicas.

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 que los 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

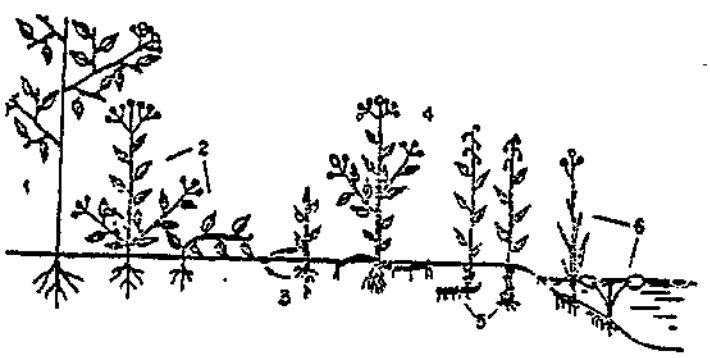


Figura: 3.4.1- Biotipos de RAUNKIER: Fanerófitos(1); Ceméfitos(2); Terófitos(3); Hemicriptófitos(4); Geófitos(5); Hidrófitos(6).

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.

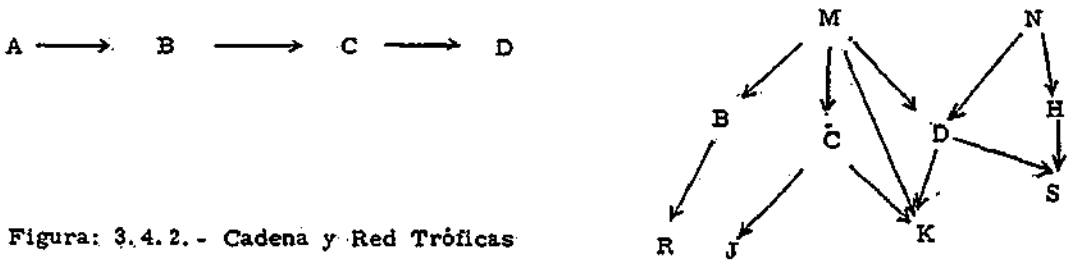


Figura: 3.4.2.- Cadena y Red Tróficas

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 predecir 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.

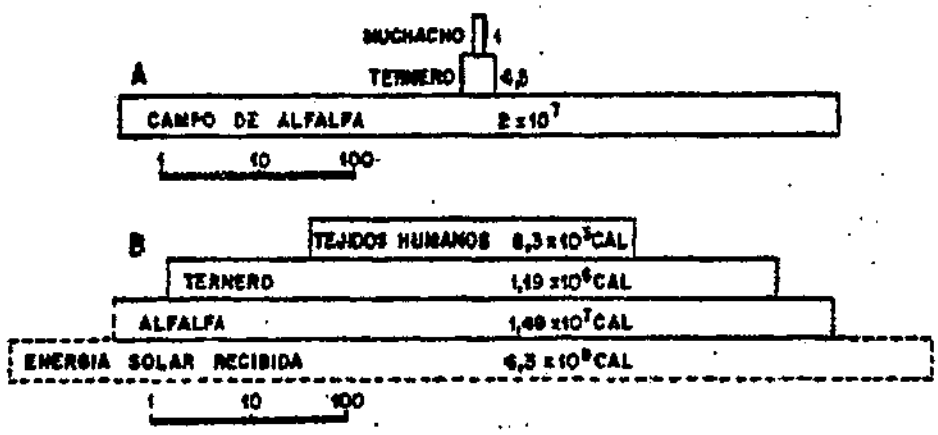
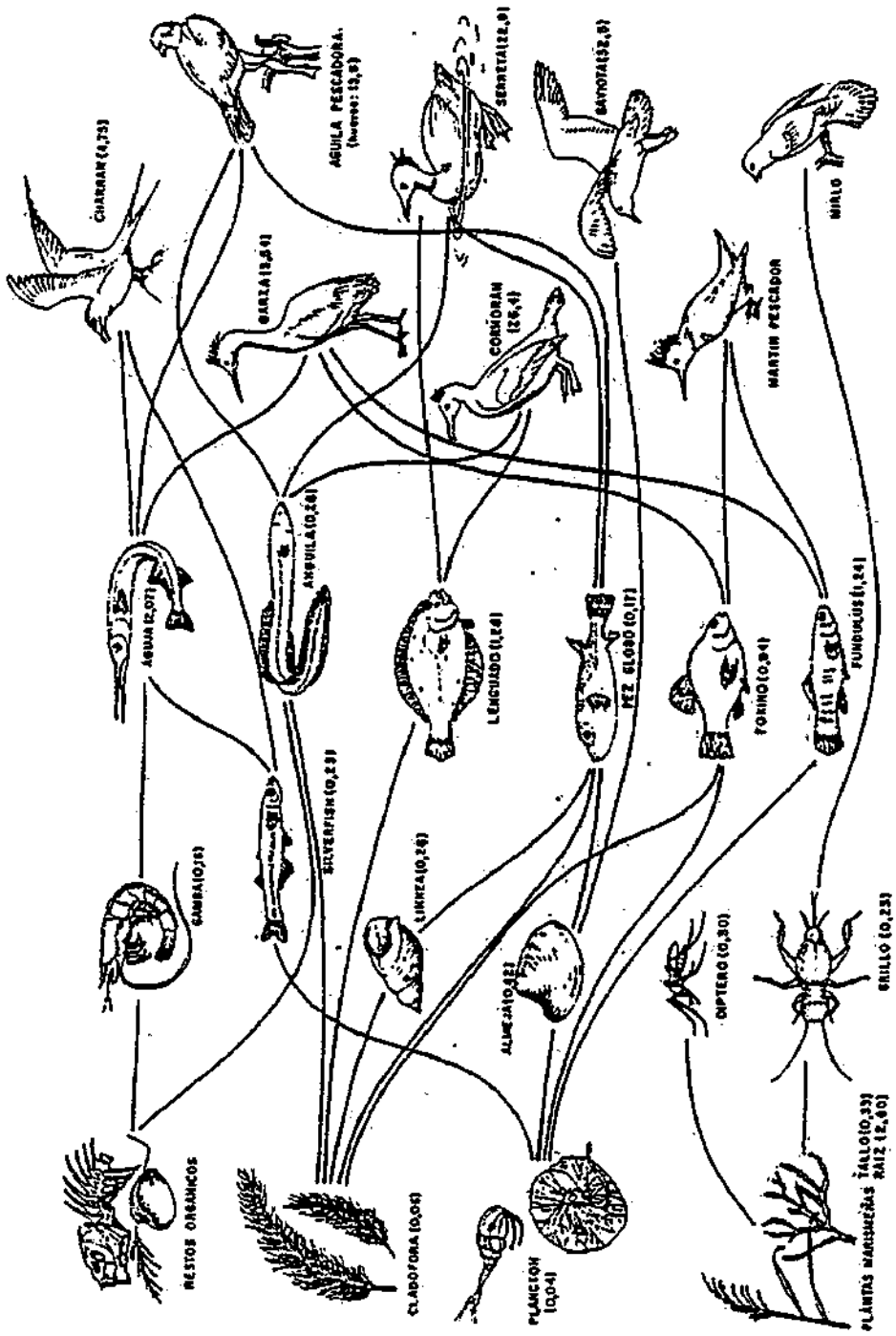


Figura 3.4.3.: Pirámides del número de individuos (A) y de energía contenida en la biomasa (B), para el caso de un sistema hipotético formado por un campo de alfalfa de 4 Ha. que puede alimentar a 4, 5 terneros y éstos a un mumacho durante un año (ODUM in DAJOZ).



Firgura: 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:

-estrafificación: 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.

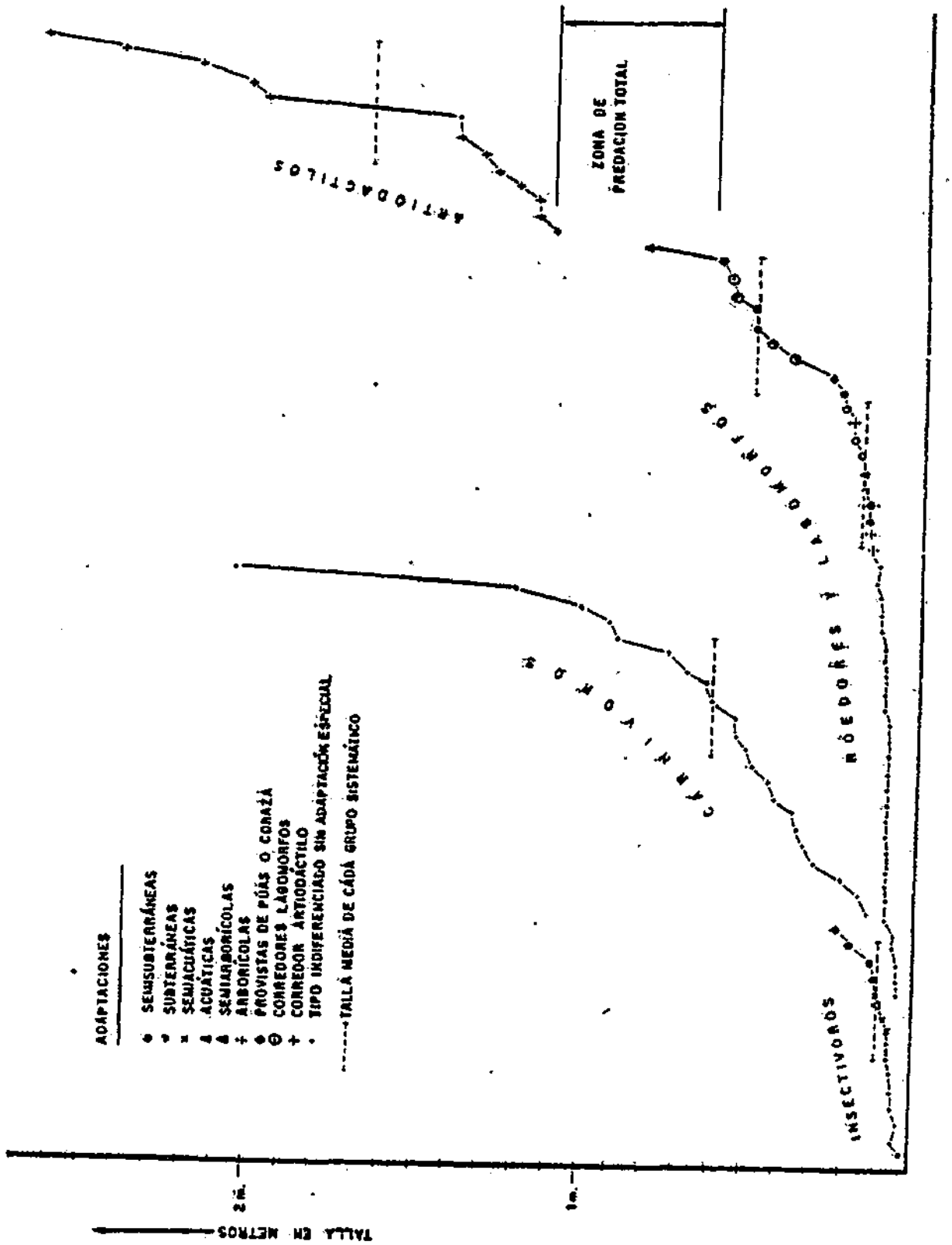


Fig. : 3.4.5 - Cenograma de los Mamiferos terrestres europeos (VALVERDE 1967). Se han colocado las especies por grupos tróficos y en orden creciente de tamaño.

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 factores 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.).

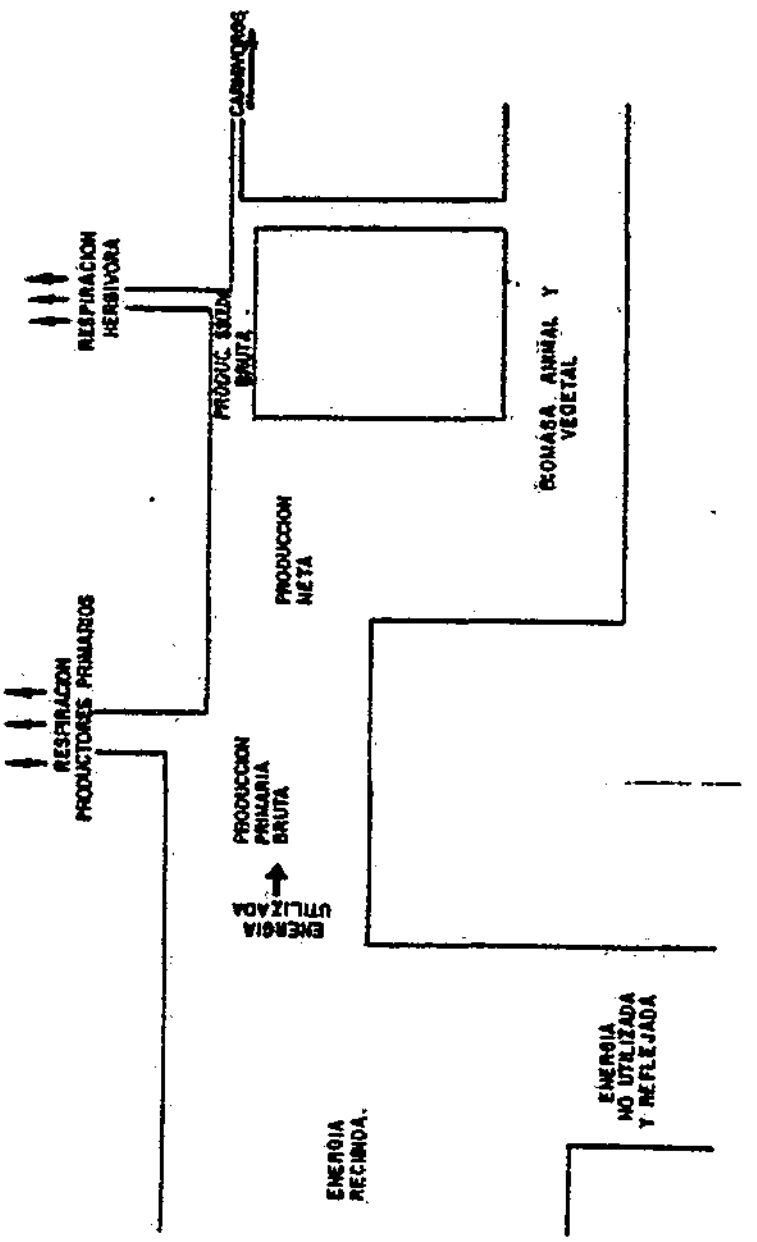


Fig. : 3.5.1 - Flujo de nergía a través de dos niveles tróficos.

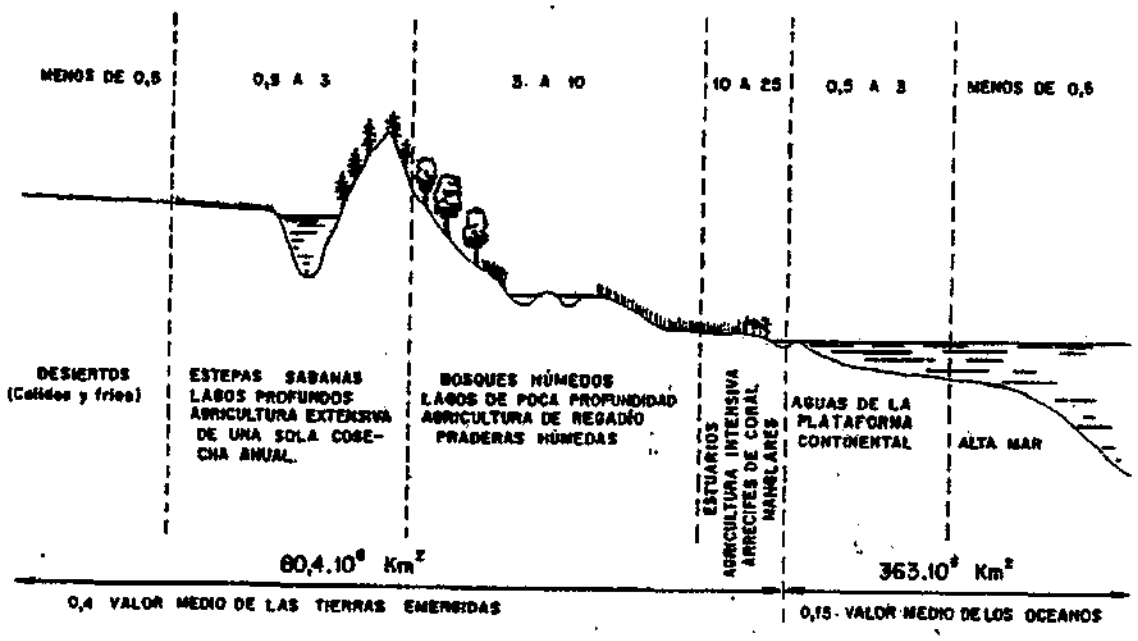


Fig.: 3.5.2 Distribución de la producción primaria bruta en gramos de materia seca por metro cuadrado y dia en diversos ecosistemas de la biosfera (Odum in DAJOZ)

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

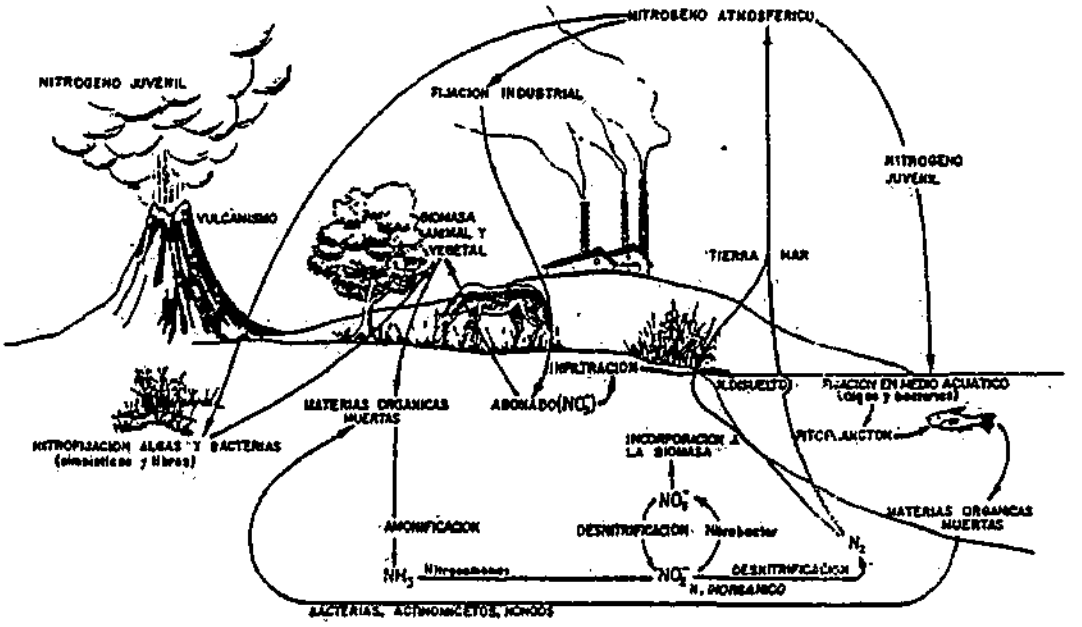


Fig. : 3.5.3 - Ciclo del nitrógeno

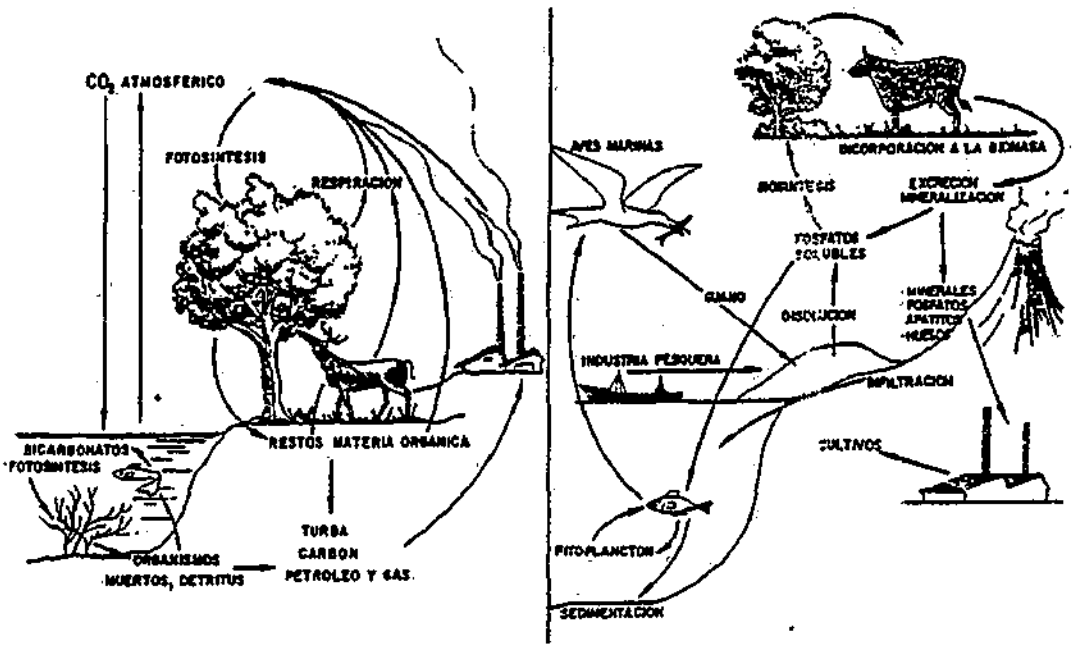


Fig.: 3.5.4 - Ciclo bioquímico del carbono 3.5.5 - Ciclo del fósforo

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 considera-- ble 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 agua 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 nuesvos 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 proceso 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 de 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, esudiado 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 aproximadamente 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 sedimentarios, 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 ecologíca 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 -- otonal 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 va-- rias 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, productividad (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 explotación (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 antropocéntrico, 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 continuamente sedimentada del plancton; la erosión edáfica explota la comunidad vegetal establecida, al robarla un cierto porcentaje de nutrientes; el fuego extrae parte de la energía acumulada en el bosque. Los sistemas explotados permanecen en fases de baja madurez, que corresponden a situaciones iniciales de la sucesión (agroecosistemas, cultivos sincrónicos, plancton, estuarios, ...)

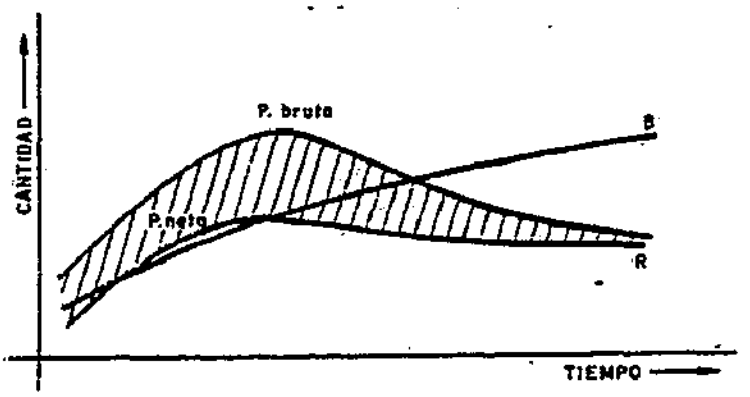


Fig. : 3.5.6 - Variación de la biomasa, producción neta y bruta y respiración a lo largo de la sucesión. Rayado: la Producción neta (ODUM)

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

6.1.- PRINCIPIOS GENERALES

Se denomina área de distribución de una especie, el conjunto de localidades en la que ésta se encuentra. La Corología es la ciencia que estudia las áreas de distribución de las diferentes especies biológicas. La interpretación del mapa corológico de una especie depende de la escala a la que éste se encuentre levantado, puesto que el rayado tupido en una determinada zona cartográfica no implica que la especie estudiada se encuentre con igual probabilidad en todos los puntos del área rayada (Fig. 3.6.1.).

Según la capacidad de una especie para habitar medios diferentes (valencia ecológica) podrá ser clasificada como estenoica (exigencias ecológicas muy concretas) o euríoica (amplia posibilidad de ocupar habitats variados). Se habla también de especies eurícoras cuando su área de distribución es muy grande, y estenócoras en caso contrario. Frecuentemente, las especies eurícoras son a la vez euríoicas (ejemplo: la mosca doméstica). Sin embargo, una especie estenoica no tiene porqué ser obligatoriamente estenócora, ya que pese a sus particulares exigencias ambientales, su habitat óptimo puede encontrarse en diferentes zonas del mundo (por ejemplo, Arabis alpina es una crucífera de zonas altas de macizos montañosos y de regiones muy frías de todo el mundo, extendiéndose desde Alaska y Escandinavia hasta los Alpes, Pirineos, Islandia, Sierra Nevada,...). Las especies extremadamente estenócoras se llaman endémicas (hablaremos de ellas en el Capítulo VI).

Especies vicarias o vicariontes son aquellas que perteneciendo a un mismo grupo taxonómico, poseyendo valencias ecológicas de la misma naturaleza, y ocupando incluso un mismo nicho dentro del sistema, tienen áreas absolutamente disjuntas: Son fruto de evoluciones convergentes, incluídas también frecuentemente en procesos de sucesión similares. Los ejemplos abundan en la Naturaleza: los tomillos del género Thymus de nuestros pinares oromediterráneos ibéricos tienen en Canarias, sus especies vicarias bajo los bosques de Pinus canariensis dentro del género Micromeria; el nicho de los dos Quercus más térmicos y xerorresistentes de la región mediterránea (Q.ilex y Q. coccifera) está ocupado en la flora californiana, bajo condiciones climáticas similares, por Q.agrifolia, Q. dumosa, Q. chrysolepis y Q. wislizeni. La pertenencia a un mismo grupo taxonómico puede interpretarse de forma más o menos amplia, como en los últimos ejemplos o en sentido mucho más restringido, incluso intraespecífico como el caso de la Digitalis purpurea ssp. carpetana de la Cordillera Central y la Digitalis purpurea ssp. mariana de Sierra Morena.

Las especies tienden siempre a ampliar su área de distribución en tanto en cuanto no se encuentren con algún impedimento. Para ello cuentan con una serie de dispositivos de dispersión (diásporas) tales como propágulos vegetativos, semillas, esporas y zigotos. Estas barreras pueden ser de diferente naturaleza: geográficas (caso de las islas), topográficas (macizos montañosos o valles de ríos), climáticas (isotermas, isoyetas), sexuales (incapacidad de fecundación por ausencia de agentes polinizadores), etc. La gran dependencia en la diáspora de la especie, de los factores ambientales, limita su expansión a determinadas zonas provocando la aparición de modelos de distribución más o menos heterogéneos.

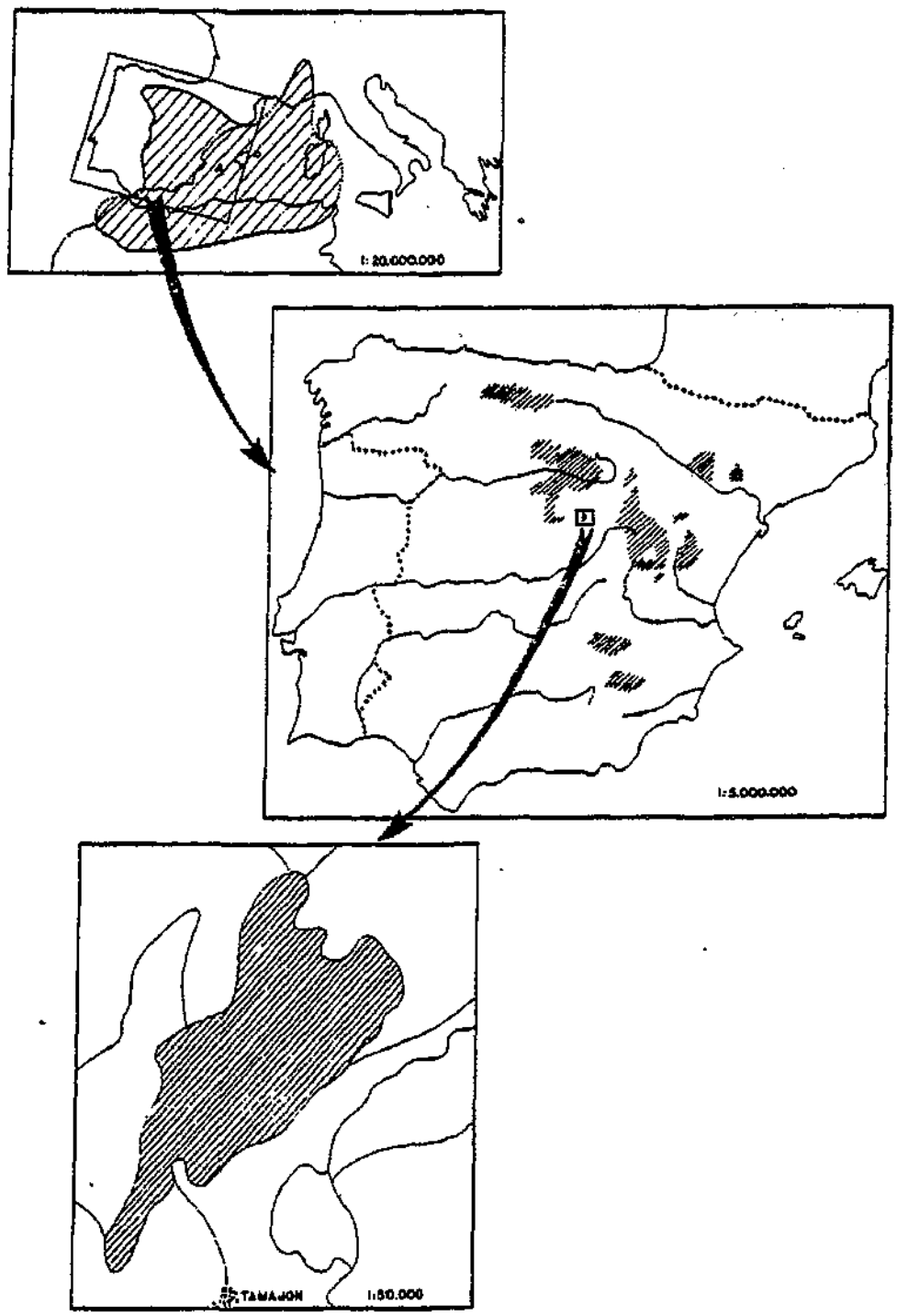


Fig. : 3.6.1 - Representación del área de distribución del Juniperus thurifera a diferentes escalas.

Existen taxones especialmente adaptados a la rápida colonización de medios desocupados: son las llamadas especies invasoras o pioneras, generalmente pertenecientes a etapas iniciales de la sucesión. Las malas hierbas sobre suelos removidos o nitrificados, los líquenes sobre substratos rocosos, determinadas especies de cloro y cianofíceas en aguas eutrofizadas, son ejemplos de tal comportamiento.

Recientemente, en la escala del tiempo geológico, muchas especies han sugrido profundas alteraciones en su área de distribución por causa de la actividad humana. Esta, ha favorecido la dispersión y avance de algunas especies (no solamente las que el hombre explota, sino muchas otras como malas hierbas, Dípteros, plagas de los cultivos, gorriones, ratas) permitiendo de forma consciente o inconsciente el salto de enormes barreras ecológicas, transportando consigo por todo el mundo especies primitivamente muy localizadas (Pinus insisgnis, Ulex europaeus, Leptinotarsa decemlimneata, Phylloxera vitifoliae, etc.) Ha impedido, por el contrario, el desarrollo e incluso la supervivencia de otras muchas, que han acabado por extinguirse (Ver Capítulo VI).

No hay que olvidar además, que no todas las especies consiguen mantener sus poblaciones estables a través de una gran tasa de multiplicación (estrategia de la r) puesto que en ocasiones, la especie logra sobrevivir pese a sus competidores y predatores mediante la adquisición de bajas tasas de reproducción (estrategia de la k) preparando muy bien a unos pocos individuos - raros, difíciles de encontrar y muy adaptados para la huída o el camuflaje - para lograr su diseminación a través del tiempo y del espacio.

6.2.- PALEOBIOGEOGRAFIA

Considerado el proceso global de la evolución de la vida sobre la Tierra, es de suponer que haya existido una sucesión de faunas y floras. Además, y según diversas hipótesis (SUESS, WEGENER, ...) los continentes han sufrido una serie de moviemientos, separaciones y confluencias, transgresiones y regresiones marinas, que junto con las orogenias y el vulcanismo han modelado la actual superficie terrestre y sus fondos marinos, siendo causa de una intensa dinámica biogeográfica a lo largo del tiempo: especies que desaparecen, otras que quedan aisladas, otras en expansión, factores ambientales fluctuantes o cambiantes estimulando la evolución de nuevos taxones, etc.

Según la hipótesis más admitida, en el Paleozoico existía tan solo un continente (Pangea) y un único mar (el Pacífico, algo mayor que en la actualidad; en su fondo aparece directamente el SIMA). La primitiva masa continental de SIAL se escindió - por causa de la fuerza centrífuga del planeta y de la retención occidental de las masas siálicas por la influencia del Sol y la Luna - en dos mitades, una oriental y otra occidental, dejando un mar protoatlántico en el centro. Según otras teorías, las primera escisión se produjo en dirección perpendicular a la anteriormente propuesta, provocando la aparición de un continente Noratlántico (Laurasia) y otro austral (Gondwana); entre ellos el mítico mar de Tethys. Sea como fuere, la separación poco a poco gestada de los continentes Americano, Euroasiático, Australiano y Antártico, a partir de una unidad paleozoica, es un hecho ya admitido por todos los sectores de la Ciencia. A lo largo del tiempo debieron irse aislando las diferentes regiones de la Tierra, con desuniones y contactos esporádicos a través de discutidos puentes continentales, regresiones marinas, glaciaciones, movimientos orogénicos y epicontinentales, sucedidos a lo largo del Mesozoico y Cenozoico. Los polos terrestres también parecen haber experimentado desde el Paleozoico a nuestros días una apreciable emigración con la subsiguente variación del ecuador y de las regiones climáticas de la Tierra.

Edad(años b.p.d)	Epoca geológica	Acontecimientos geológico-geográficos	Consecuencias biogeográficas
70.000.000	Finales del Mesozoico(últimos momentos del periodo Cretácico).	Asia y Australia que aún estaban en contacto, inician su separación total	Los marsupiales asiáticos que habían expansionado libremente por el continente australiano, quedan aislados. La posterior evolución en Euroasia de los mamíferos placentarios durante el Cenozoico, resultó así desconocida en Australia, donde la fauna de vertebrados estuvo dominada por los marsupiales hasta la llegada de la civilización humana.
		Existía un puente entre Norte y Sudamérica.	Los marsupiales sudamericanos llegaron a través de ese puente hasta Norteamérica(todavía quedan hoy pruebas, como la zarigüeya).
50.000.000	Cenozoico antiguo.	Desaparece el puente norte-sudamericano	Se provoca así una evolución independiente de los mamíferos placentarios. Solo el 50% de la fauna es común para las dos mitades del actual continente americano
		Europa y Africa se encontraban situadas en posición más meridional	Europa, más alejada del polo Norte que hoy día, estaba cubierta por bosques tropicales y subtropicales(especies de los géneros Ficus, Sabal, Nipa) parecidos a las actuales selvas indomalayas.
		El conjunto formado por el Mediterráneo y el lago Mer (gran mar interior que se extendía desde el sur de Rusia hasta Turquía) se encontraban aislados por completo del Atlántico.	
13.000.000	Final del Mioceno.	Plegamiento alpino	La vegetación va haciéndose cada vez menos tropical. En la Península Ibérica y otras regiones del Mediterráneo, abundaban los bosques de laurisilva.
3.000.000	Comienzo del Plioceno	La elevación alpina provoca la aparición de los Cárpatos y el cierre del Mar con el Mediterráneo.	Al verse desprovisto el Mediterráneo del flujo de agua procedente de los grandes ríos eurosiberianos, comienza a desecarse, reduciéndose a pequeños lagos salinos centrales. Disminuye la humedad atmosférica, lo cual, unido al continúo desplazamiento del Ecuador, provoca la regresión de la laurisilva, apareciendo en su lugar formaciones esclerófilas(actual vegetación mediterránea). En Centroeuropa dominan los caducifolios y coníferas, pero con mayor diversidad que en nuestros días.

5.500.000	Plioceno	Finalmente, el Atlántico consigue abrirse paso hacia el Mediterráneo, a través de Gibraltar. En pocos siglos se restablece el nivel primitivo de las aguas.	
		Vuelve a emerger el puente entre América del Norte y del Sur	Sus faunas de mamíferos, se ponen de nuevo en contacto.
1.000.000	Comienzo del Pleistoceno	Puentes intermitentes entre América del Norte y Siberia.	Sus faunas entran en contacto. De Asia hacia América pasan bisontes, ciervos, rinocerontes lanudos y mamuts. En dirección contraria caballos y camellos.
	Günz Mindel Riss Wurm	Sucesivos periodos glaciales e interglaciales	Con las glaciaciones muchas de las especies de los bosques de caducifolios y coníferas son expulsados de Europa (Ginkgo, Taxodium, Sequoia, Tsuga, Magnolio, Liriodendron). En las regiones mediterráneas, avances y retrocesos intermitentes de Cupulíferas (Quercus) frente a Gimnospermas (especialmente Pinus sylvestris)
13.000	Llega a su máximo la glaciación Wurmiense		
8.800	Comienza la época postglaciar (Preboreal).		

acontecimientos en Sáhara	acontecimientos en España	acontecimientos en Europa
En el actual Sáhara reinaba todavía un clima mediterráneo húmedo con bosques de Quercus y Cedrus, e incluso Alnus, Acer y Tilia. Culturas humanas meso y neolíticas en Tassili-n-Ajjer (1.500 años de adelanto con respecto a Europa).	En la Península Ibérica hay vegetación y climas variados (caducifolios, sabinares, algo de laurisilva), pero dominando las formaciones mediterráneas. Frigoridesérta en la cumbre de las montañas.	Clima ártico con Dryas, Salix, Betula nana y Artemisia. Al irse haciendo menos riguroso el clima, van transformándose en pinares y bosques de Populus tremula y Betula

		Sáhara	España	Europa
7.000	Periodo Hipsitérmico: época más cálida del postglacial. Aumenta el nivel de los mares.	La vegetación se hace aún más mediterránea (Pinus halepensis, Juniperus phoenicia, Olea, Pistacia lentiscus)	En el centro de la Península se producen grandes reducciones en la flora eurosiberiana. Avance de encinares y alcornocales. Dejan de crecer muchas turberas de montaña.	Asciende el nivel de los bosques en los Alpes. Europa se cubre de hayedos y robledales.
4.000	Enfriamiento Subboreal			Avanzan algo los pinares de P. sylvestris a costa de hayedos y robledales
3.000		Fuerte regresión de la vegetación mediterránea. Comienza la desertización del Sáhara medio.		
2.500		Continua la desertización		En Centroeuropa avanzan los hayedos
		Desertización total del Sáhara.	Se produce la desforestación masiva de los bosques, la eliminación intensa de especies animales y vegetales y la erosión del suelo, ante la actitud explotadora del hombre hacia los recursos naturales.	
0		Se advierte, en general, cierto ascenso termométrico y descenso pluviométrico, con lo que en muchas zonas norteafricanas y mediterráneas se nota un patente avance de la desertización, acelerada todavía más por la desforestación y erosión provocadas por el uso humano del suelo.		

Hemos resumido en un amplio cuadro los principales acontecimiento paleobiogeográficos ocurridos en el planeta desde el final del mesozoico.

6.3.- COROLOGIA

Para mayor facilidad en el estudio de las áreas de distribución de las especies biológicas, la Corología distingue una serie de entidades jerárquicas, subdividiendo a la Biosfera con arreglo a la mayor o menor unidad y personalidad de las diferentes faunas y floras de islas y continentes. Estas - entidades - definidas probablemente con una contribución más significativa por la Corologia Vegetal son de mayor a menor amplitud: Reino, Región, Provincia, Sector, Distrito, Localidad y Tesela.

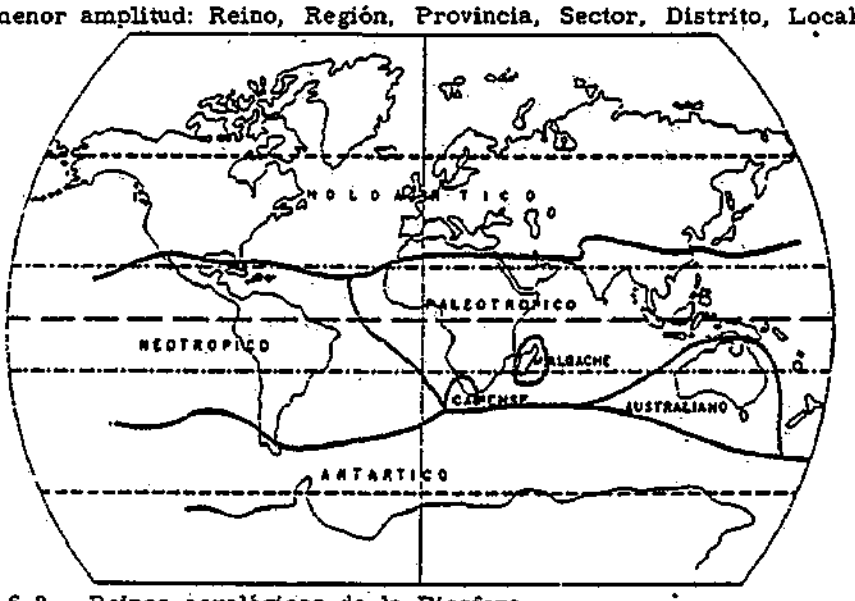
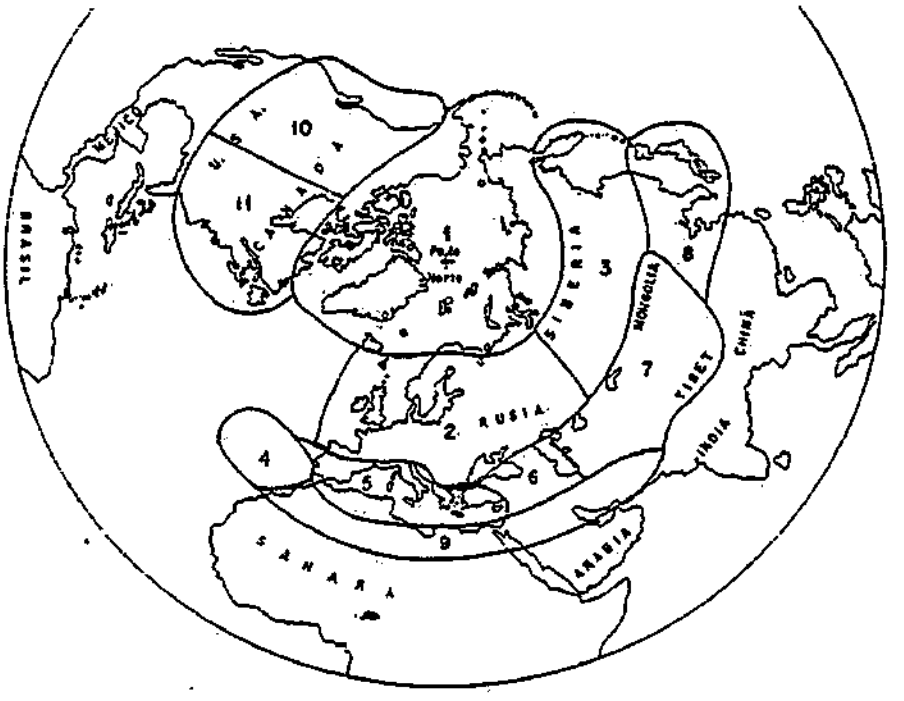


Fig. : 3.6.2 - Reinos corológicos de la Biosfera



Filg. : 3.6.3 - Regiones del reino Holoádrico: Artica (1); Eurosiberiana (2); Estesiberiana (3); Macaronesica (4); Mediterránea (5); Oesteasiática (6); Centroasiática (7); Esteasiática (8); Saharo-Síndica (9); Pacífico-Americana (10); Atlántico-Americana (11). (OZENDA, 1964).

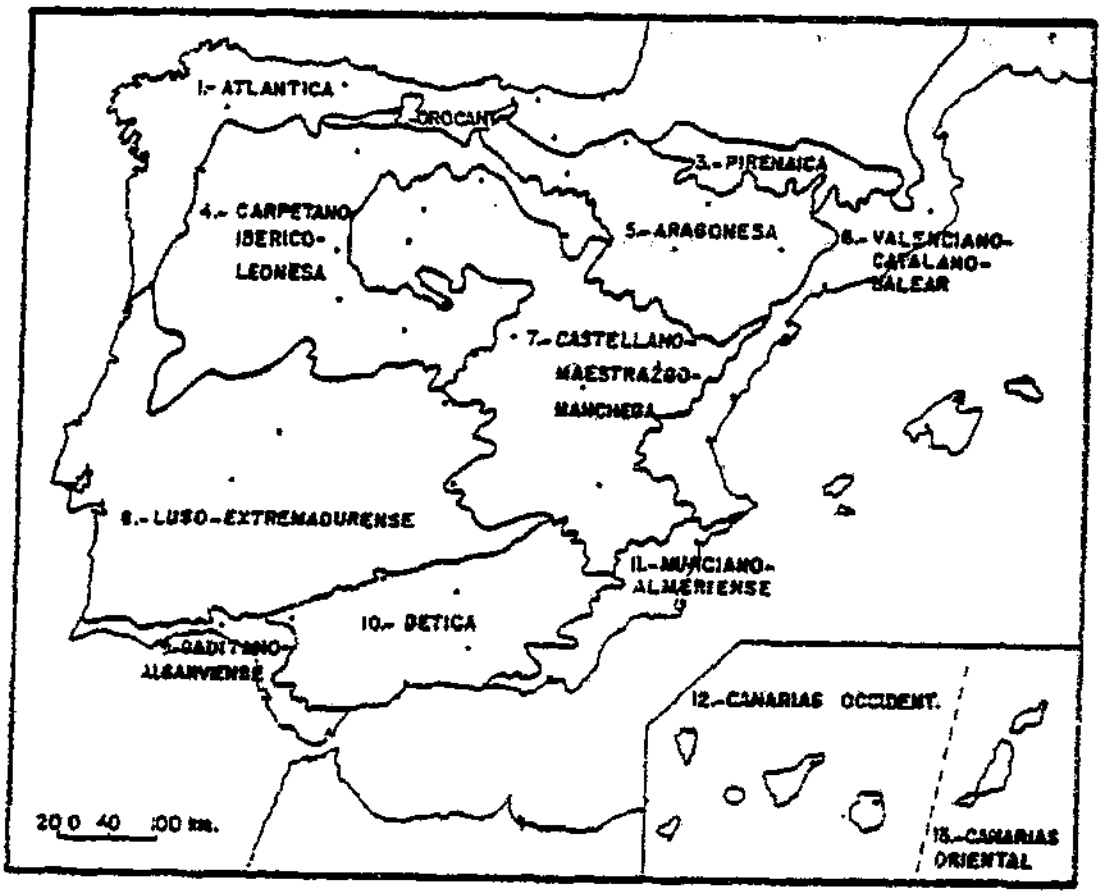


Fig. : 3.6.4 - Provincias corológicas de la Peninsula Ibérica Canarias y Baleares. (RIVAS MARTINEZ, 1973).

En las figuras 3.6.2., 3.6.3., 3.6.4 se muestran, respectivamente, la distribución de los diferentes Reinos de la Biosfera, Regiones del Reino Holoártico y Provincias de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. Además hemos incluido un cuadro resumen de los Reinos y Regiones corológicas de la Tierra, en el que se ha intentado armonizar los diferentes criterios con que la Botánica y la Zoología trabajan. En el se citan algunas de las especies animales y vegetales representativas de cada unidad.

reino	subreino	región	algunas especies animales características	algunas especies vegetales características
HOLOARTICO	Paleártico (Eurasia y N. de Africa).	Artica Eurosiberiana Estesiberiana Mediterránea Macaronésica Oesteasiática Centroasiática Esteasiática Saharosindica	ciervo, corzo, topo, conejo, jabalí, camello, asno, yack, lobo, gallo, uro(ext.)lince, lirón, curruca, orangután, reno, tigre, y elefante asiáticos.	encina, jara, alerce, higuera, camelia, magnolio, naranjo, vid, algarrobo, brezo, haya, pino, roble
	Neártico (Norteamérica).	Pacificoamericana Atlánticoamericana	bisonte, castor, mapache aligator, mofeta, antílopes americanos, caribú, serpiente cascabel, rata almizclera	sequoia, taxodio, pinos hayas y robles americanos.
PALEOTROPICO (Africa)	Etiópico Capense Oriental		gorila, chimpacé, búfalo, rinoceronte, cocodrilo, elefante africano, jirafa, leopardo, león, avestruz.	boabad, palmeras, asclepiadáceas, árbol de la canela, bejuco, senecios arbóreos.
NEOTROPICO (Sudamérica)			perezoso, tucán, ñandú, lapir oso hormiguero.	cactáceas, maíz, tomate, patata, ágave, quebracho.
MALGACHE (Madagascar)			dodo, aye-aye, lemures, tenrecs, geco diurno.	árbol de los viajeros, cocotero doble, kalanchöe.
AUSTRALIANO	Australiano Polinésico Nezeolandés		canguro, koala, ornitorrinco, ardilla voladora, emú, dingo, ave del paraíso.	eucalipto, casuarina, mimosa, ailanto.
ANTARTICO			petrel antártico, pájaro bobo	algunas gramíneas y líquenes antárticos.

6.4.- TIPOS DE ECOSISTEMAS

Intentar sistematizar en pócas líneaa algo tan complejo como los ecosistemas, es algo utópico y pretencioso, puesto que, evidentemente existen una enorme serie de limitaciones nacidas por una parte del mismo concepto abstracto de ecosistema y por otra, de la variada complejidad de adaptaciones, diversidad ambiental y enorme capacidad de combinación multiespecífica de la Biosfera. Recordemos que el ecosistema es solamente una unidad de trabajo para el ecólogo. Conviene aclarar que los enfáticamente llamados "grandes tipos de ecosistemas" (o biomas) de numerosas obras de Ecología, no son más que grandes grupos de modelos de respuesta (y principalmente fisionómicos) a situaciones macroambientales más o menos representativas de las diferentes regiones de la Biosfera. La climacidad de tales formaciones es algo relativo a la escala del tiempo y siempre descutible en función de su posición geográfica, factores limitantes del biotopo e influencia antropozoógena experimentada. Existen además mayores superficies cubiertas por etapas subseriales, o incluso totalmente alteradas de su estructura primitiva por el uso humano del suelo y recursos naturales, que ocupadas por comunidades climácicas.

Prescindiremos no obstante del rigor intelectual, buscando una mejor eficacia pedagógica, y describiremos someramente las características principales de los biomas más importantes, es decir, de los sistemas ecológicas más representativos y diferenciados de la Tierra. En general han sido establecidos basándose fundamentalmente en las formaciones vegetales existentes.

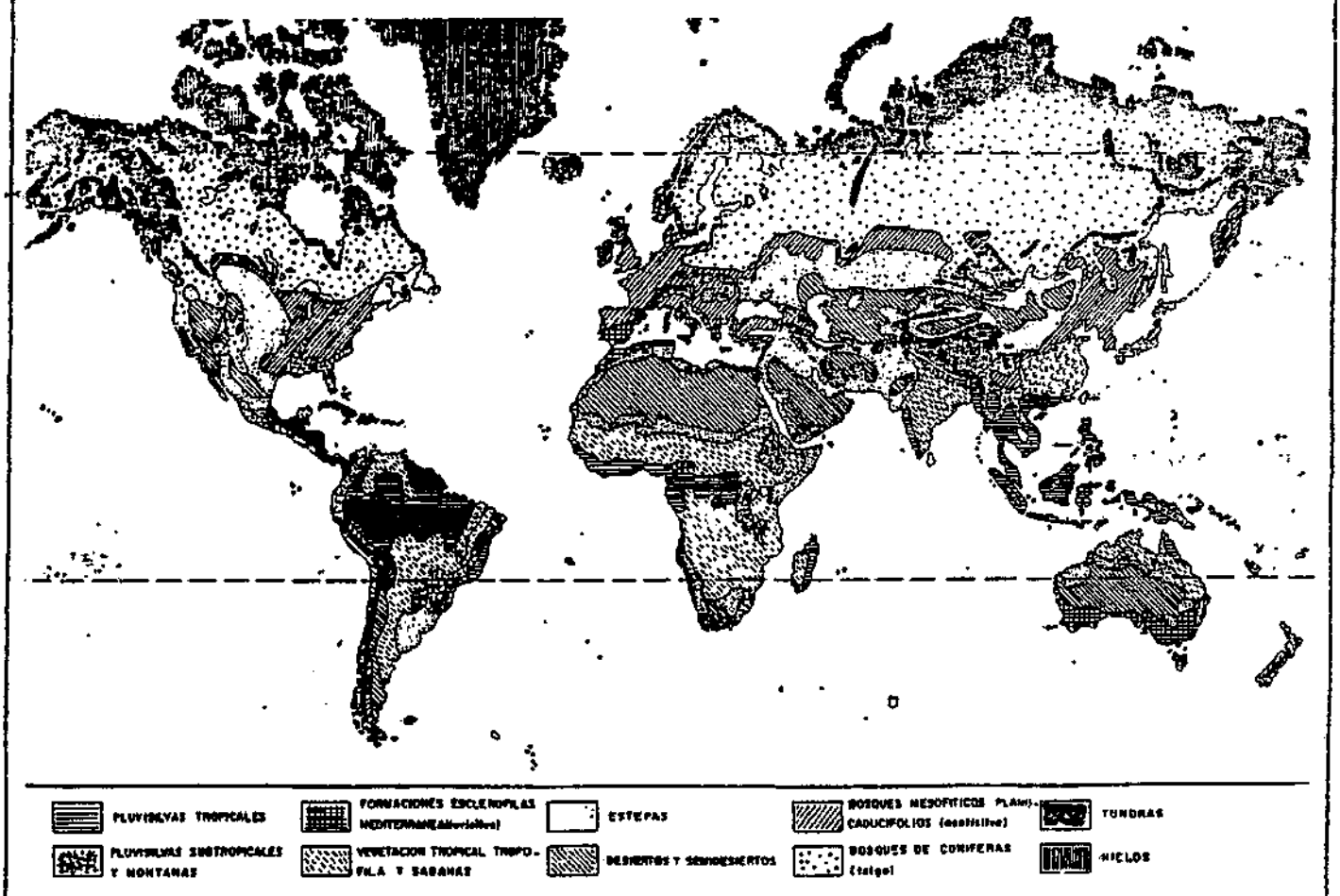


Figura: 3.6.5.- Principales biomas del mundo.

6.4.1.- Ecosistemas del medio terrestre

El bosque tropical (pluviisilva)

Ocupa zonas ecuatoriales (Brasil, Centroafrica, Indomalasia). Grandes precipitaciones (2.000 mm. anuales). Suelos muy lavados y susceptibles a la erosión; abundan los lateríticos. Gran diversidad de especies. Compleja estratificación en el bosque (especies adaptadas a la lucha por la luz), con mayor concentración y variedad en los estratos más superiores. Gran complejidad de cadenas y relaciones tróficas. Alta productividad. Fauna diversa, con abundancia de especies arborícolas y de costumbres nocturnas: simios, lemúridos, ardillas, puercoespines arborícolas, perezoso, zarigüeya, jaguar, oso de los cocoteros, tucanes, papagayos, boas, pitones, ardilla voladora, galeopiteco, racóforo, etc. Al nivel del suelo viven especies como el okapi, pecari, aguti e hipopótamo enano.

Laurisilva

Bosques laurifolios subtropicales propios de zonas húmedas, pero de menor termicidad que la pluviisilva; menos estratificados también. Las hojas, perennes, anchas y lustrosas, colaboran activamente en consecución de agua para la planta al condensar y escurrir la humedad ambiental reinante ("ordeño de nieblas"). Formado por diversas especies de lauráceas, magnoliáceas, mirtáces y aquifoliáceas.

Bosque esclerófilo mediterráneo (durisilva).

En varias zonas del mundo y aproximadamente entre los 30 y 40º de latitud (en ambos hemisferios) aparecen una serie de regiones no demasiado continentales, caracterizadas por unas formaciones vegetales fisionómicamente similares, fruto de adaptaciones a un factor climático común: la coincidencia de la estación cálida con la seca. Efectivamente, al registrarse varios meses sin apenas precipitaciones durante la época de mayor termometría (verano) las reservas de agua del suelo llegan a agotarse por la evapotranspiración del ecosistema. Las formaciones vegetales que consiguen soportar este auténtico "stress" ambiental, se han visto obligadas a una serie de adaptaciones conducentes hacia la "sordera informática" con respecto al clima (hojas y tejidos esclerófilos, parada estival de la actividad fisiológica, reducción de superficies de evapotranspiración, adopción de ciclos anuales rápidos - terófitos- madurando los frutos al llegar el verano, evolución en bastantes casos hacia portes herbáceos, etc.

Como resultado de los comentados factores de selección y de la producción de generaciones anuales, la evolución ha sido rápida, y la flora mediterránea destaca por su diversidad y número de especies endémicas. Además cuando el mediterraneismo se une a otros elementos de aislamiento o adaptación como la altitud, aumenta todavía más considerablemente el porcentaje de endemicidad (en las altas cotas ormediterráneas llega a ser superior al 40%, como ocurre en Sierra Nevada -España-). En el capitulo 6 se recoge un cuadro comparativo sobre el número de endemismos de distintos paises europeos.

Entre los elementos de la fauna destacan: lince, lobo, gineta, meloncillo, ciervo, gamo, jabalí, erizo, abundantes reptiles (largartijas, culebras) y roedores, águila, buitre, milano, aves granívoras e insectívoras, etc.

Bosque mediterráneo (Sierra Morena). Foto : F.E.Hdez. Bermejo.

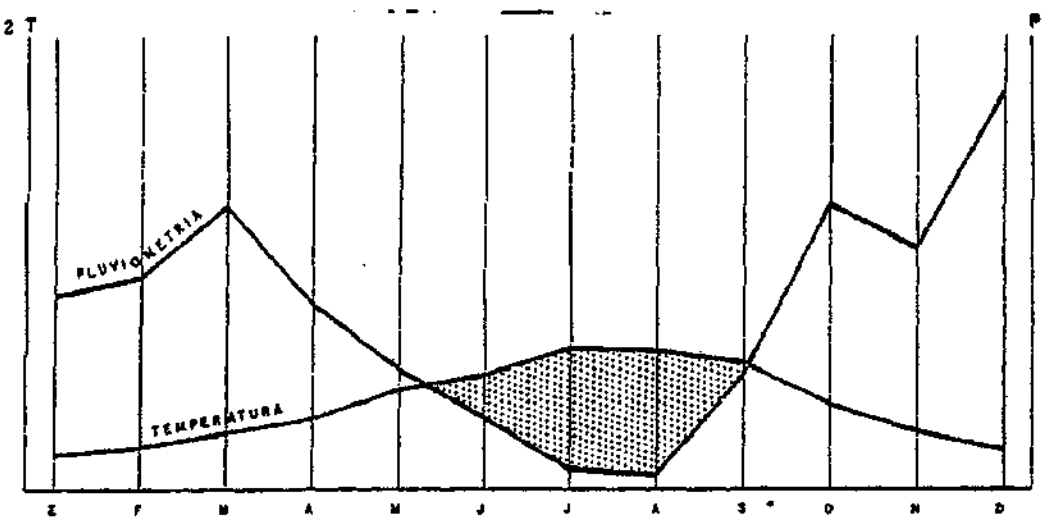


Fig.: 3.6.5. - Diagrama Ombrotérmico de El Centenillo (Sierra Morena). Punteado: Periodo Xérico.

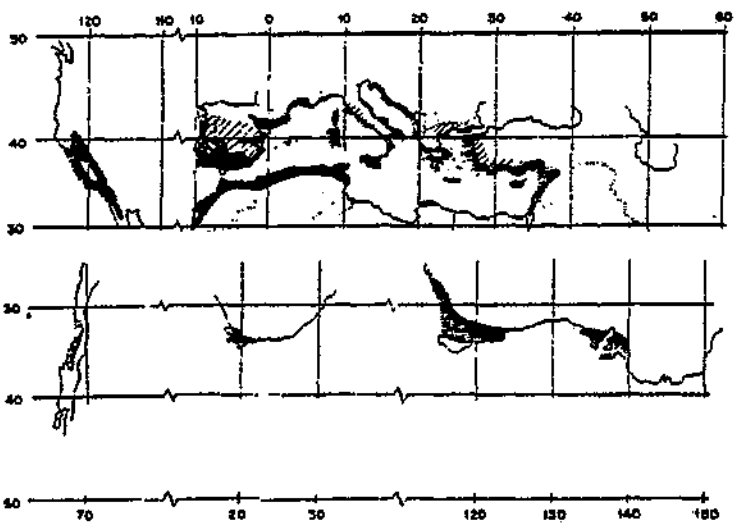


Fig. : 3.6.6 - Situación de las regiones mediterráneas del mundo.

Bosque caducifolio (aestisilva)

Son formaciones vegetales propias de zonas húmedas y frescas, adaptadas a una parada fisiológica durante el invierno. Las frecuentes nevadas y bjas temperaturas coinciden con la caída de la hoja en las especies frondosas de la aestisilva (Quercus robus y Fagus sylvatica en la región eurosiberiana, Quercus alba, Acer saccharum, Fagus grandifolia y Tilia americana en Norteamérica, y Notophagus en América del Sur). El intenso reciclaje anual de la materia orgánica compensa el fuerte lavado a que se ven sometidos los suelos de estas formaciones vegetales. Fauna: ciervo, corzo, jabalí, lobo, zorro, oso, comadreja, ardillas, lirones, picos, trepadores. Intensa actividad de invertebrados xilófagos.

Bosques de coníferas (taiga o aciculisilva)

Por encima (latitudinal o altitudinalmente) de las formaciones de aestisilva, aparece la taiga: pinos abetos, piceas y alerces forman estros bosques de zonas frías con inviernos largos y rigurosos, sometidos a fuertes nevadas. Formaciones perennifolias con hojas aciculares y resinosas, que al ir acumulandose en el suelo, forman un humus bruto y ácido que participa en la podsolización (lavado) del suelo. Poca estratificación y diversidad. En ocasiones, y en algunas regiones del mundo (por ejemplo en las regiones oromediterráneas) aparecen formaciones de coníferas problemáticamente incluibles en la aciculisilva, fruto de dobles adaptaciones a inviernos fríos y nevados junto con verano algo secos y cálidos. Los pinares de P. sylvestris de la Cordillera Central española o los cedrales de Cedrus atlantica de la Cordillera del Rif mauritana, son ejemplos de estas situaciones. Fauna : o , lobo, zorro, glotón, marta, visón, ardillas, urogallo, puercoespín (candiense) Insectos xilófagos.

Tundra

Por encima del límite natural de los árboles, entre la taiga y las regiones polares, es decir en la zona circumpolar y en la alta montaña, el periodo libre de heladas es inferior a los tres meses, y el suelo no llega a deshelarse más que en los primeros centímetros superficiales. La vegetación está formada por arbustos enanos (Betula nana y algunas ericáceas), musgos y líquenes (Cladonia). Fauna: caribú, reno, liegres árticas, lemmings, zorro, oso polar; avifuna migratoria, que solo nidifica en verano; entre las sedentarias: lagópodo, escribano nival, harfango y eider. Son pues ecosistemas muy sencillos, con poca complejidad trófica, y por lo tanto muy susceptibles a perturbaciones ambientales (ej. : contaminación por radioisótopos).

Formaciones arbustivas

Muy abuandantes y diversas, en casi todas las regiones de la Biosfera. Generalmente no suelen ser climácicas, sino más bien fruto de procesos sucesionales regresivos de las formaciones arbóreas potenciales. En otras ocasiones parecen representar sin embargo el óptimo, como en el caso de los piornales de alta montaña o los brezales de la Europa montañosa con influencia oceánica (ericilignosa).

Formaciones herbáceas

Pueden tratarse desde formaciones procedentes de una intensa actividad antropozóógena (praderas o pastizales conseguidos mediante continuas labores y rozas del matorral) hasta situaciones climácicas estables (pampas, pastizales de alta montaña, estepas.) La fauna suele ser rica en herbívoros y roedores. En las sabanas africanas: antílopes, gacelas, cebras, jirafas, elefantes y rinocerontes entre los herbívoros, león, leopardo y guepardo entre los carnívoros. En la pradera norteamericana: bisonte, perritos de las praderas, lobos, serpientes de cascabel y búhos.

Desiertos

Este término es hasta cierto punto ambiguo, puesto que puede ser aplicado a zonas semiáridas (250 a 150 mm de precipitación), áridas (entre 150 y 50) y desérticas absolutas (por debajo de 50 mm). Pueden además ser litorales o continentales, arenosos, arcillo-limosos, rocosos, o salinos. La vegetación es en todos los casos escasísima y con adaptaciones muy señaladas, provocadas por la necesidad de reducir la transpiración, aprovechar al máximo las escasas precipitaciones y conseguir bombear el agua del suelo. Unas veces, el resultado ha sido la crasulescencia, en otras el terofitismo extremo (ciclos con solo uno o dos meses de planta adulta y el resto en forma de semilla), y finalmente en ciertos casos, la adquisición de portes reducidos y xeroesclerenquimáticos.

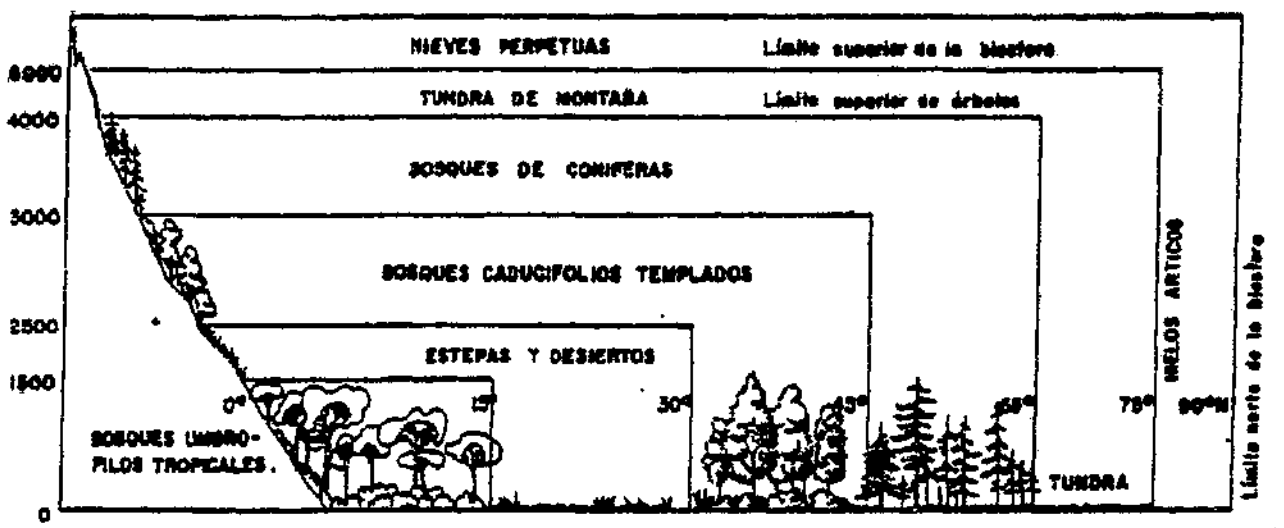


Fig. : 3.6.7 - Correlación entre latitud y altitud en la distribución de biomas (WOLCOTT, 1946)

ECOSISTEMAS TERRESTRES DE LA PENINSULA IBERICA Y ARCHIPIELAGO BALEAR

Intentaremos sistematizar brevemente los principales modelos de un punto de vista eminentemente fitosociológico. Elegimos este criterio dado su enorme capacidad de análisis y al hecho de que las fitocenosis están entre las taxocenosis que responden de un modo más inmediato, constante y localizado a las diferentes combinaciones de factores medioambientales. Conseguir un compendio total de los sintáxones no está al calcance de estas breves líneas sobre el tema, por lo que nos limitaremos a citar las clases y algunos órdenes y alianzas fitosociológicas agrupándolas y describiéndolas en términos sencillos.

1) Bosques caducifolios

Las comunidades arbóreas caducifolias de la Península Ibérica pertenecen a la clase Querco-Fagetea. Dentro de ella, los hayedos se incluyen en el orden Fagetalia, con excepción de los hayedos acidófilos ibéricos que forman el Ilici-Fagion del orden Quercetalia robori-petraeae. A este último orden también pertenecen los robledales de melojo, roble sésil y carballo formando la alianza Quercion-robori petraeae. Dentro de la citada clase todavía hay otros sintáxones para formaciones algo menos extensas que las nombradas. Todos estos bosques ocupan preferentemente las tierras de la región eurosiberiana y descienden por los macizos montañosos a través de la región mediterránea. Los hayedos parecen detenerse en el Sistema Central donde ya son muy raros, pero otras formaciones de carácter submediterráneo como son los melojares de Quercus pyrenaica llegan hasta Sierra Nevada. Todas estas formaciones, de Aestisilva, están integradas por árboles de hoja caduca, a veces algo marcescentes, que dan lugar a suelos profundos en los que el reciclaje de nutientes funciona con bastante eficacia. Necesitan para establecerse de un notable fescor estival con veranos de temperaturas suaves y humedad elevada.

Como formación de orla de estos bosques, se establecen en su periferia, ecotonos y claros, comunidades de Prunetalia spinosae.

2) Bosques esclerófilos perennifolios

Los encinares, quejigares, alcornocales y algunas otras formaciones subarbóreas y arbustivas paraclimácicas quedan incluídas dentro de laQuercetea ilicis, una de cuyas alianzas, la Quercetalia ilicis agrupa a todas las formaciones esclerófilas perennifolias mediterráneas, de naturaleza boscosa, creadoras de microclima sombrío y la otra, la Pistacio-Rhamnetalia alaterni incluye comunidades arbustivas de carácter heliófilo y preclimácico entre las que están algunos matorrales litorales, otros de cauces y barrancos y otros de orla de bosque (coscojares) en casi todos los casos integradas por arbustos espinosos que por endurecimiento de las condiciones climáticas se ven impedidos de un posterior avance sucesional.

3) Bosques de riberas y formaciones leñosas ripícolas

A la Populetalia albae pertenecen los sotos caducifolios de carácter más centroeuropeo. A la Alnetea glutinosae las alisedas y algunas choperas. En situaciones de clima más mediterráneo e incluso semiárido se establecen adelfas, sauzgatillos y tarayales (Nerio-Tamaricetea). Las saucedas y matorrales ribereños inmediatos a las orillas de los rios en ambiente centroeuropeo, pertenecen al Salicion purpurae mientras que en ambiente mediterráneo al Salicion triandrae.

4) Matorrales seriales.

Los matorrales de sustitución de las clímax arbóreas pertenecen básicamente a: la Cisto-Lavanduletea si se trata de matorrales acidófilos mediterráneos (jarales, cantuesales, retamares...), a la Ononido-Rosmarinetea si son calcícolas mediterráneos (romerales, algunos tipos de brezales, tojares y jarales eutróficos, ...), y en climas más frescos se establecen los matorrales de la Nardo-Callunetea que incluyen los brezales sobre suelos oligótrofos.

5) Bosques de coníferas

A la Vaccinio-Picetea pertenecen los bosques de abetos y piceas así como determinados pinares de la región eurosiberiana. En españa esta clase está sólo representada por los pinares de P. uncinata del Pirineo .

A la Pino-Juniperetea pertenecen los pinares culminícolas calizos (Pino-Juniperion sabinae), los pinares, enebrales y piornales de la alta montaña silícea (Pino-Cytision purgantis) y los sabinares -- continentales (Juniperion thuriferae).

Otras muchas formaciones que incluyen especies de coníferas incluso como dominantes leñosas son en bastantes ocasiones resultado de introducciones o repoblaciones realizadas por el hombre, o bien forman parte en otros casos de etapas de sustitución de las clímas primitivas.

6) Praderas y pastizales

Sobre suelos silíceos y en ambiente mediterráneo aparecen formaciones de Helianthemetea y sobre estos mismos substratos oligótrofos pero en ambiente centroeuropeo, o sea con humedad climática y carácter pionero, las de Sedo-Scleranthea y Corynephoretea (estas últimas con muy escaso grado de cobertura). Cuando la humedad edáfica es una constante - aunque sea variable en intensidad- a lo largo del año, con independencia del substrato y generalmente - no siempre - en ambiente centroeuropeo, aparecen comunidades de Molinio-Arrhenatheretea (praderas de siega) .

Sobre suelos eutrofos en ambiente mediterráneo se establecen praderas de Thero-Brachypodietea y en ambiente centroeuropeo o submediterráneo, las de Festuco-Brometea.

En la Nardo-Callunetea también se incluyen un modelo de praderas (Nardetalia), los cervunales, - pastizales subhigrófilos por humedad edáfica, de carácter atlántico montano.

Finalmente las clases Elyno-Seslerietea, Caricitea curvulae y Festucetea indigestae incluyen pastizales psicroxerófilos.

7) Comunidades nitrófilas

En suelos removidos, donde se ha registrado una actualización reciente de nutrientes unida a la - eliminación total o parcial de la vegetación establecida, se producen unos ecosistemas de vigencia muy transitoria, que desde el punto de vista vegetal están generalmente integradas por terófitos - de ciclo reducido y capacidad de multiplicación elevada. estas formaciones aparecen en bordes de caminos, cunetas, campos agrícolas, prados embastecidos o muy estercolados, claros de bosques y zonas desforestadas, matorrales frecuentados por el ganado, en proximidad a los asentamientos humanos, ecosistemas urbanícolas, etc. La Fitosociología dedica varias clases a estas formaciones. Así, tenemos que a la Polygono-Poetea annuae pertenecen las comunidades pioneras de biotopos muy pisoteados, en ambientes urbanos o viarios. La Stellarietea mediae está constituida -- por las comunidades ruderales y malezas urbánicolas (Chenopodietealia muralis) junto con las malas hierbas de los cultivos hortícolas (Polygono-Chenopodietalia), las malas hierbas de los sembrados en calizas (Secalletalia) en suelos pobres silíceos (Aparetalia spica-venti) y finalmente por la Brometalia rubenti-tectori. La Artemisietea vulgaris integra las comunidades de malezas montanas evolucionadas y perennes, intrasilváticas, subnemorales o nemorales. La Bidentetea tripartiti son las comunidades nitrófilas de fondos secos de balsas y cursos de agua. La Onopordete acanthoner-

vosi son las comunidades grandes de cardos de floración estival que se establecen sobre terrenos muy - removidos. La Oryzetea sativae son las formaciones de malas hierbas de los arrozales. La Epilobietea-angustifolii son comunidades colonizadoras de bosques recientemente aclarados y desforestados. La Pegano-Salsoletea son las malezas de regiones áridas margosas y algo halófilas (sisallares y saladillares).

8) Comunidades salinas y halófilas

Según el tipo salinidad presente en el suelo, nivel de la misma y origen, se establecen una serie de formaciones cuyo nombre más genérico sería el de saladares, que la fitosociología analiza clasificándolos en Cakiletea, cuando se trata de comunidades de malas hierbas de las playas, en Thero-Salicornietea strietae cuando dichas comunidades ocupan suelos inundados temporalmente por aguas salinas (son comunidades de terófitos generalmente monoespecíficas), en Chritmo-Limonietea cuando se trata de formaciones establecidas sobre roquedos inmediatos al mar salpicados por él) y todavía en dos clases más : la Salicornietea y Juncete maritimi en otras situaciones que ya no vamos a analizar.

9) Comunidades acuáticas

Seguimos refiriéndonos a las fitocenosis de plantas superiores sin entrar en ecosistemas acuáticos - propiamente dicho. Según se trate de comunidades flotantes, arraigadas al suelo, halófilas o no (y si es que si, de aguas marinas o continentales) de aguas frías o templadas, oligotrófas o más o menos eutrofas, etc. tenemos muy diferentes modelos de formaciones incluíbles en clases como Ceratophylletea, Lemnetea, Stratistea, Zoosteretea marinae, Rupppietea maritimae, Charetea, Potamogetonetea Littorelletea, etc. En las fuentes y arroyos, surgencias y habitats parecidos aparecen comunidades de Montio-Cardaminetea.

10) Otras formaciones

El esquema hasta aquí trazado es aún muy incompleto pues quedan por definir otros muchos modelos de formaciones tales como las que aparecen en los pedregales de montaña (Thlaspietea rotundifolii), turberas de montaña (Scheuchzerio-Caricetea fuscae y Oxycocco-Sphagnetea), fitocenosis sobre suelos higroturbosos constituídas por grandes cárices y cañaverales (Phragmitetea) comunidades megafórbicas de montaña (Betulo-Adenostyietea), comunidades rupícolas (Asplenietea rupestris), de dunas (Ammophiletea), de ventisqueros (Salicetea herbaceae) etc.

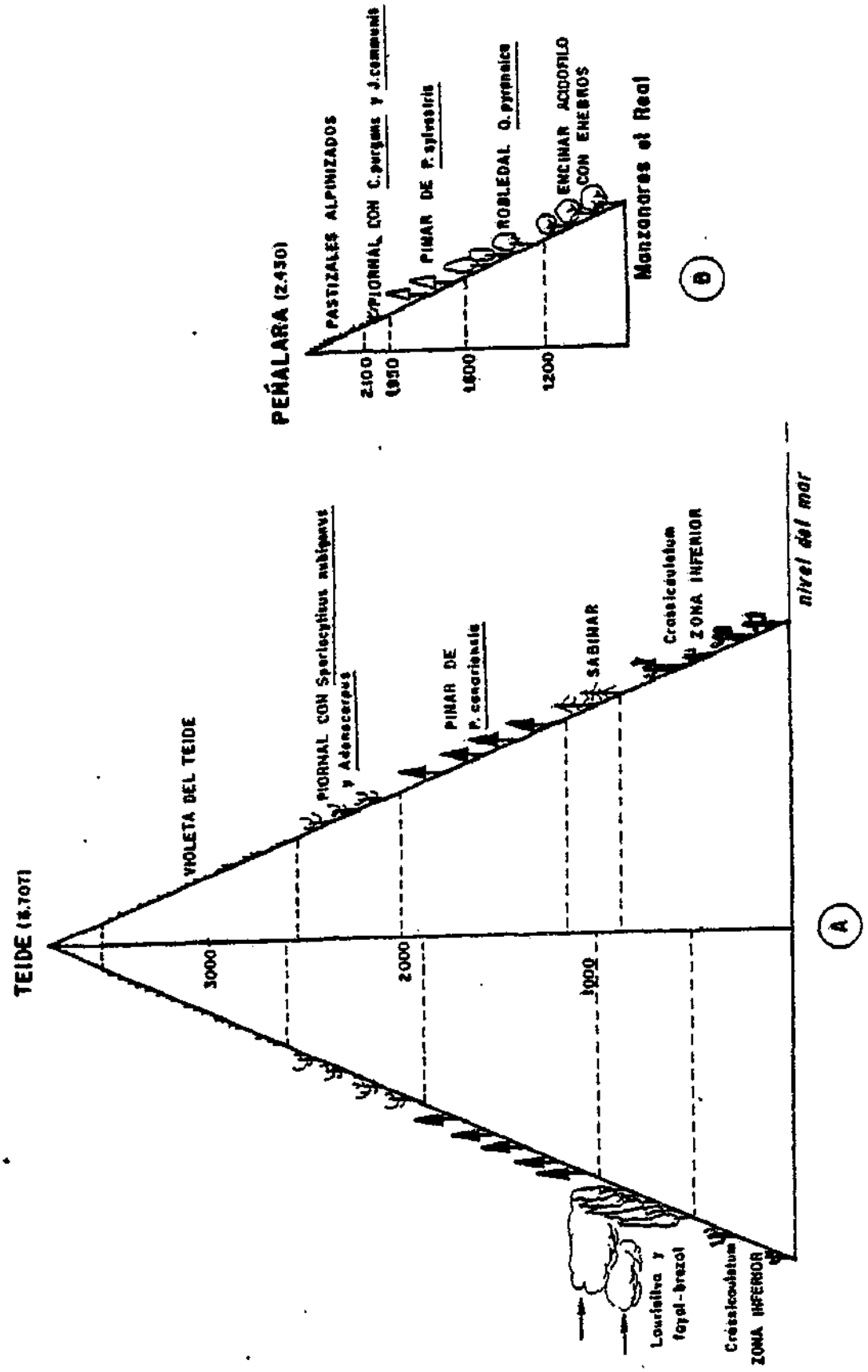


Fig. : 3.6.8 - Cliseries altitudinales de la vegetacion potencial de (A) isla de Tenerife y (B) Cordillera Central

6.4.2. El Medio Marino

- Factores físicos que condicionan la vida en el mar:

Luz

Uno de los factores que ejerce una importancia decisiva en la productividad de los oceanos es la luz. El estudio de la penetrabilidad de la luz en el mar es complejo, ya que el agua de mar no es un medio ópticamente puro, sustancias químicas disueltas o materia orgánica en suspensión inciden en forma decisiva en el grado de penetrabilidad de la luz, así mismo la superficie del mar, que normalmente no es plana debido al oleaje, varía continuamente el grado de incidencia de la luz sobre la superficie del océano.

En lineas generales, se van absorbiendo o van desapareciendo distintas longitudes de onda conforme profundizamos en el mar.

En los 10 cm superiores se eliminan el 50% de las radiaciones ultravioletas (210-296 mr), a 15 m de profundidad solo queda un 1% de radiaciones rojas, a 80m quedan un 1% de radiaciones verdes y a 130m penetran solamente un 1% de radiaciones azules. Por debajo de esta profundidad podemos decir que prácticamente no existe iluminación.

Las algas bentónicas, si bien presentan un valor proporcionalmente pequeño respecto a la productividad total del océano, se han adaptado a estas circunstancias y asi tenemos tres tipos diferentes de algas: verdes, pardas y rojas.

Pensemos que el color que muestra el alga corresponde a la radiación de no utilizable por el vegetal, asi un alga roja aprovecha todas las radiaciones menos la roja etc...

Por ello y simplificando mucho, podemos decir que las algas verdes como Ulva ó Enteromorpha predominan tan solo en los primeros metros de profundidad (excepcionalmente, ERCEGOVIC, 1960, encuentra en el Adriático Ulva a 70m y Udotea a 100m) y las únicas algas capaces de vivir por debajo de los 50m son las algas rojas.

Atendiendo al factor "iluminación" podemos ya establecer una importante clasificación de zonas oceanicas:

ZONA FOTICA o bien iluminada, desde la superficie a los 50m de profundidad; es donde realizan sin dificultad los procesos de fotosíntesis.

ZONA OLIGOFOTICA: de 50 a 500 m. donde los vegetales autótrofos no pueden sintetizar pero pueden sobrevivir cierto tiempo.

ZONA AFOTICA : 0 de total oscuridad.

b) TEMPERATURA

Un factor importante que condiciona y limita el desarrollo de los organismos marinos es la temperatu

tura.

Podemos considerar el parámetro Ta en sentido horizontal (geográfico) o en sentido vertical (en profundidad).

En las aguas superficiales se da una gran variación de temperaturas desde las regiones polares con 2ºC a el Golfo de Mexico con 32-35ºC.

El factor latitud varía mucho en función de las corrientes marinas, así es bien conocido que en el Atlántico entre 40ºN y 70ºN las costas europeas son más cálidas que las americanas por efecto de la corriente del Golfo.

Si consideramos la profundidad, podemos establecer dos niveles o capas, una superior o TERMOSFERA cuyo límite inferior está como máximo a 500 m y donde la temperatura desciende rápidamente con la profundidad, y debajo una capa llamada PSICROSFERA con tª practicamente estable. (Esto no se cumple en algunos mares cerrados como el mediterraneo).

En ciertas circunstancias, como por ejemplo tras un prolongado tiempo de calma relativa con recalentamiento del agua superficial, seguido de vientos fuertes que producen una mezcla y homogenización de la capa superior, la transición entre las dos capas, calida y fria es muy brusca, llamandose TERMOCLIMA a esta superficie de discontinuidad. Estas termoclinas se forman y desaparecen periódicamente en las regiones templadas, mientras que en las regiones tropicales la termoclina es practicamente permanente durante todo el año.

c) CORRIENTES

Las corrientes superficiales se producen en función de los regímenes de vientos dominantes, en líneas generales y según un hipotético modelo tendríamos en el ecuador una estrecha corriente de W a E ó "contracorriente ecuatorial" cuya anchura es de 300-500Km y cuya velocidad es de un nudo.

Después se extiende una gran zona hasta los 30ºN y 30ºS donde la corriente fluye hacia el W. Entre 40 y 50º la corriente vuelve a fluir hacia el E, y por encima de los 50º nos encontramos con las regiones subpolares y polares con corrientes producidas por los vientos del E de las Regiones polares.

A nivel local nos encontramos que durante los meses invernales, frente a la costa cantábrica discurre una corriente W--►E frente a la costa española y S --► N frente a la costa francesa, esta corriente homogénea alcanza su máxima intensidad en Febrero.

Desde mediados de Julio hasta finales de Octubre se producen corrientes oscilatorias, siempre paralelas a la costa y que son función directa de los vientos dominantes en cada momento.

Algunos meses estivales presentan corrientes dominantes de E --► W pero no suelen prevalecer durante mucho tiempo.

d) FACTORES QUIMICOS QUE CONDICIONAN LA VIDA EN EL MAR.

CO_2

Está presente en gran cantidad bajo la forma de carbonato o bicarbonato. Existe un intercambio de CO_2 entre el océano y la atmósfera; se sabe que en los polos pasa del aire al mar, mientras en los trópicos pasa del mar al aire.

Constituye el gas más importante para la vida pelágica, su origen puede ser debido al O_2 atmosférico que se disuelve en la capa superficial o bien al producido en el mecanismo de la fotosíntesis por el fitoplancton.

El consumo de O_2 se produce por diferentes mecanismos como son la respiración de animales y plantas, oxidaciones químicas y enzimáticas, acción bacteriana ...

Así como los factores que reducen el contenido de O_2 en el océano son muy variados y están ampliamente distribuidos, los mecanismos de aporte están limitados a la capa de agua superficial y se conocen algunas zonas profundas del océano anóxicas como el Mar Negro por debajo de los 150m, algunos fiordos noruegos y en algunas fosas del Pacífico en Canadá y Chile.

SALINIDAD

Expresada por el símbolo 5% es el peso de elementos sólidos obtenidos a partir de 1 Kg de agua de mar desecada a 480ºC hasta peso constante.

Lo primero que podríamos preguntarnos es como alcanzó el agua de mar su composición actual y como se mantiene esta composición. GOLDSMIDT sugiere el siguiente balance geoquímico:
Rocas ígneas + volátiles --→ agua de mar + sedimento + aire; así establece que 1,6 Kg. de rocas ígneas darán un litro de agua de mar, 0,6 Kg. de sedimentos y 3 litros de aire.

CLORINIDAD

Expresado como CL% representa en gramos la cantidad total de halógenos. La relación entre estos dos parámetros es:

$$S\% = 0,030 + 1,805 . Cl\%.$$

La salinidad en el medio oceánico es de 35% aunque puede variar entre 33 y 37.

Los valores límites son 41% en el mar Rojo y 12% en el Báltico.

NITROGENO:

N. Amoniacal: es más abundante en los primeros 200 m superficiales aunque varía mucho, parece estar sometido a un ciclo estacional.

Nitritos : se dan normalmente en cantidades muy reducidas, abundan más en aguas litorales ya que en profundidad pasan rápidamente a nitratos; parecen seguir tambien un ritmo estacional.

Latitudes	Salinité pour millle (S^o/oo)	
	Hémisphére Nord	Hémisphére Sud
90-80º	21	
80-70º	26	
70-60º	30,4	33,2
60-50º	32,2	33,8
50-40º	33,5	34,4
40-30º	35,5	35,3
30-20º	35,3	36,0
20-10º	35,0	35,8
10- 0º	34,8	35,2

Nitratos: son la forma más abundante (e importante de N. y al contrario que los componentes anteriores abundan en los fondos (producidos por la descomposición y degradación de la materia orgánica sedimentada en el fondo y debido a que en este medio no existen organismos que utilicen nitratos.)

Fosfatos: Es uno de los nutrientes mas importantes para la productividad vegetal, abunda más en zonas de mayores latitudes y normalmente se encuentra en el fondo.

Cuando por determinadas causas se produce un "ascenso" de aguas profundas ricas en fosfatos y nitratos a la superficie, se produce un crecimiento explosivo de fitoplancton que repercute favorablemente en la producción de zooplancton y peces pelágicos como anchoa y sardina.

Un "upwelling" de este tipo se produce frente a la costa de Galicia en verano; este afloramiento comienza en Mayo y produce una mayor riqueza en nutrientes, plancton y animales marinos a la vez que provoca un enfriamiento de las aguas superficiales durante los meses estivales frente a las costas gallegas.

-Ecosistemas de el medio marino.

Pueden distinguirse como primera aproximación tres tipos de sistemas ecológicos perfectamente diferenciados:

a) el plancton: formado por los organismos que viven "suspendidos" en el agua (diatomeas, peridíneas, flageladas, cocolitoforales, larvas de poliquetos, moluscos y equinodermos; celentéreos, rotíferos, crustáceos, apendicularias).

b) El necton : conjunto de especies que viven también en medio del agua, sin tocar fondo de forma permanente, pero desplazándose activamente. Integrado por peces pelágicos, mamíferos marinos, cefalópodos y bastantes crustáceos decápodos.

c) El bentos : está constituido por todos aquellos organismos que ó bien se encuentran fijados al fondo (bentos sésil con algas feofíceas, rodofíceas y clorofíceas, algunas fanerogamas -Zostera y Posidonia- y diversos animales como cnidarios y procordados), o bien moviéndose sobre o por bajo de él (bentos móvil formado por crustáceos, equinodermos y lamelibranquios). El bentos explota de forma pasiva al plancton, al consumir los detritus, depósitos y organismos muertos que por sedimentación llegan a él a partir de los ecosistemas planctónicos. Los movimiento y corrientes verticales de agua permiten des-

pués el reciclaje de nutrientes a partir de los fondos marinos.

Con independencia de este punto de vista, el medio marino suele también subdividirse con arreglo al criterio de la figura 26.

PLANCTON

El término de PLANCTON fue utilizado por Hensen en 1887 para designar "todo lo que flota en las aguas".

Actualmente se entiende por plancton a un conjunto de animales y vegetales vivos que, en estado adulto o como larvas, flotan más ó menos pasivamente en las aguas dulces o marinas.

Aunque estos organismos posean medios de locomoción o natación son incapaces de vencer las corrientes; este caracter pasivo de sus desplazamientos es lo que caracteriza esencialmente la vida planctónica.

Para clasificar el Plancton se han usado numerosos criterios. Según un critério biológico el Holoplancton sería el plancton permanente, es decir animales o vegetales que durante toda su vida pertenecen al plancton y Meroplancton o plancton temporal constituido por estadios larvarios de animales del Necton o incluso del Bentos.

Otra clasificación topográfica distinguiría el plancton nerítico que vive en las aguas costeras (Zona Nerítica) y Plancton oceánico que vive en alta mar lejos de las costas.

El criterio más utilizado es el dimensional:

Macroplancton : superior a 5mm, (algunos sifonóforos alcanzan los 30-40m como Apomelia)

Mesoplancton : organismos que miden entre 1 y 5 mm.
Microplancton: " " " " 50 y 1 mm.
Nanoplancton : " " " " 5 y 50mm.

FITOPLANCTON:

Agrupa el componente vegetal del plancton, los grupos más importantes que lo integran son:

Diatomeas: algas unicelulares con caparazón de sílice (frústula) constituyen la mayor parte del fitoplancton y representan un papel esencial en la base de la pirámide alimenticia del mar.

Dinoflagelados: algas unicelulares con flagelos que le permiten cierta movilidad, tienen cubierta rígida de celulosa, pectina y callosa, provista de agudas expansiones que impiden la sedimentación. Los géneros más comunes son Peridinium y Ceratium.

ZOOPLANCTON

Es la parte heterótrofa, constituida por animales de muy diversos grupos zoológicos; entre ellos, los copépodos constituyen el 70% del total del zooplancton con más de 750 especies diferentes.

Igual que en el fitoplancton el problema que debe afrontar el zooplancton es el de sostenerse y no hundirse demasiado deprisa. A pesar de tener ciertas actividad natatoria presentan númerosas adaptaciones que mejoran su flotabilidad, aumentadon la superficie mediante expansiones o filamentos, o presentando flotadores como los sifonóforos.

Un fenómeno que resulta interesante son las migraciones verticales del zooplancton, descubiertas ya por la expedición "Challenger" (1872), donde se observó como algunas especies de copépodos y ostrácodos solo aparecían en el plancton superficial durante la noche. Este hecho fue corroborado en la expedición "Michael Sars" (1970) en el Atlántico al observar como decápodos pelágidos subían de noche desde 800 m de profundidad.

Es frecuente el ascenso nocturno de copépodos, anfípodos, cladóceros, eufasiáceos, decápodos etc... con una velocidad de hasta 125 m/hora. Para explicar este fenómeno se han emitido diversas hipótesis, pero lo que es cierto es que este mecanismo facilita la alimentación del animal que sube durante la noche a "pastar" a la superficie.

- Efectos de la eutrofización sobre el plancton.

Cuando un lugar cerrado como una bahía o estuario recibe fuertes aportes de nutrientes (nitratos y sobre todo fosfatos procedentes de detergentes vertidos en las aguas residuales urbanas) se producen explosiones de fitoplancton. Lo que en un primer momento puede parecer beneficioso deja de serlo cuando este fitoplancton muere y sedimenta. Se va acumulando materia orgánica en el fondo mas deprisa de lo que puede descomponerse y se produce un agotamiento del 0_2 del fondo. Así tenemos la paradoja de que mientras en superficie hay una sobresaturación de 0_2 (producido por el fitoplancton) a poca profundidad hay una DBO importante. Cuando el proceso se agudiza y en el sedimento las condiciones se vuelven completamente anóxicas , comienzan a producirse bolsas de SH_2 que terminan con la vida animal y vegetal.

Estos problemas han sido dramáticos en la bahía de Túnez y en la actualidad afectan a algunas áreas del Mediterraneo como el puerto de Mahón.

Las fases de la eutrofización son:

1º Aporte de nutrientes en un sitio cerrado, normalmente vertidos urbanos, N en forma organica y fosfatos en detergentes.

2º Crecimiento explosivo de fitoplancton y sobresaturación de 0_2 en la capa de agua superficial.

3º Enturbiamiento del agua, color verduzco o pardo amarillento, el fitoplancton va muriendo y sedimenta en el fondo.

4º En el fondo se agota rapidamente el 0_2 y comienzan a producirse mecanismos anaerobios.

5º Resultado de estos procesos es la formación de SH_2 muy venenoso que produce la muerte de todos los organismos vivos (incluyendo el fitoplancton).

BENTOS

El concepto de bentos se opone al de pelagos, es decir bentos son los seres vivos que habitan en el fondo.

Es importante considerar la naturaleza del fondo que condiciona al tipo de especies que viven sobre él. En lineas generales podemos distinguir fondos sólidos (rocosos) y blandos (arenosos y fangosos).

Teniendo en cuenta la profundidad, podemos distinguir un bentos litoral (en la zona fótica) y un bentos profundo en la zona afótica.

De los seres bentónicos, el 90% se encuentra en la zona litoral donde hay una gran diversidad y especialización de los organismos en función del tipo de fondo.

De igual forma, la biomasa se encuentra concentrada en la zona litoral poco profunda, asi los valores medios son:

De 0 a 200 m	200 gr/m^2
de 200 a 3000 m.	20 gr/m^2
más de 3000 m.	0.2 gr/m^2

Estratificación del bentos.

Según el esquema podemos distinguir empezando por la superficie un nivel supralitoral cuya característica es la existencia de algas y animales muy adaptados a la desecación. En los sustratos rocosos viven clorofíceas y cianofíceas asi como líquenes.

En el nivel litoral (meso e infra) existen gran número de especies. En la zona mesolitoral comprendida entre los niveles de marea viven cirrípedos, mejillones y algas a veces sometidas a una clara estratificación.

Esta estratificación de las algas va en función de su tolerancia a la desecación y a ellas va asociada una epiflora y epifauna característica.

Las grandes concentraciones de mejillón que ocasionalmente se presentan en este nivel están condicionados por un alto grado de agitación y gran riqueza de materia orgánica.

Estas poblaciones sufren grandes variaciones, por ej en el ultimo año ha disminuido la población de mejillón existente en las rocas de Mompas, posiblemente debido a la supresión del matadero de Gros que aportaba gran cantidad de m.o. pero ha aumentado mucho la población de ejillón en Pasajes de San Pedro sin que haya por el momento una explicación lógica en este fenómeno.

El nivel infralitoral esta constituído por algas fotófilas, como Gelidium sesquipedale mientra que en el piso circalitoral donde la luz es un factor limitante solamente sobreviven algunas algas rojas calcáreas, mientras que abundan mucho los animales filtradores como esponjas e hidrozoos.

6.4.3. - El Medio Dulceanícola.

Introducción

La limnología es la parte de la ecología que estudia las aguas continentales, es decir investiga la estructura y función de estos ecosistemas. Se pueden dividir éstos en aguas remansadas, aguas corriente y aguas subterráneas.

Es una ciencia relativamente moderna, ya que empezó a desarrollarse hace unos cien años. Hoy en día ha cobrado importancia por el uso del agua dulce como agua potable, para la industria y en general para las múltiples necesidades humanas. El mejor aprovechamiento de los recursos conduce forzosamente al estudio detallado de la Ecología de estas aguas.

Como aguas continentales podemos considerar:

1) Aguas subterráneas.

2) Aguas superficiales:

a) Aguas corrientes : ríos, arroyos, torrentes.

b) Aguas remansadas: lagos, embalses, estanques, charcas,

El agua tiene un ciclo en la Tierra, con los pasos de evaporación, condensación y precipitación (lluvia, nieve, etc, esto irá a las aguas en movimiento (corrientes) o se filtrará, convirtiéndose en agua subterránea, o irá a lagos y mares.

Toda el agua de la Tierra se reparte en la siguiente manera (en su corteza) :

Atmósfera	0,0008%
Aguas marinas	83,51
Lagos y rios	0,016
Hielo	1,007
Aguas subterráneas	0,016
En la litosfera	15,45

Estos datos (KALLE 1945) no han sido sustancialmente variados por otros autores. En números, ese 0,016% viene a ser $0,03 \times 10^6$ km^3. Esta cantidad es insignificante comparada con el agua del océano y sin embargo es la más utilizada, junto con la subterránea. Sólo hace unos años se ha empezado a utilizar el agua del océano, desalinizandola para su posterior utilización.

El agua como medio físico.

Vamos a recordar algunas propiedades del agua, ya que es el medio donde se realizan todas las actividades de los ecosistemas dulceacuícolas.

Densidad a 25ºC 0,9970 g/cm^3; densidad máxima (4ºC) 1 g/cm^3 Viscosidad en Centipoise (25ºC) 0,893

Calor específico 1000 calorías / kg.

Tensión superficial con respecto al aire 72,76 dinas/cm

Punto de ebullición 100ºC

Punto de fusión 0ºC

Todas estas propiedades a 1 atmósfera de presión. La anomalía de que la máxima densidad sea aproximadamente a 4ºC es de vital importancia para la vida. La tensión superficial del agua es la mayor que se conoce de todos los líquidos a la temperatura ordinaria. Los puntos de fusión y ebullición son bastante altos. Por ejemplo, por la fórmula H_2O debía esperarse que el agua hirviera a -80ºC.

El tener el máximo de densidad por encima del punto de fusión se cree debe a la formación de agregados de las moléculas de agua. Cuando el hielo se derrite se produce primero una contracción, porque desaparecen los agregados (o mejor dicho la red del hielo), siendo la contracción máxima a 3,98 ºC. Si aumenta la temperatura el agua forma sus agregados o "clusters" dejando más espacio libre entre sus moléculas. También influyen en la densidad el contenido en sales y la presión. Con un contenido de 1 g/l baja el máximo de densidad 0,2ºC, y si aumenta la presión 10 atmósferas, baja 0,1ºC (como su puede apreciar el agua es poco compresible).

Si comparamos algunas propiedades del hielo con el agua, podemos ver las grandes diferencias que existen, las cuales repercutirán en los ecosistemas:

	Hielo	Agua a 0ºC
Densidad en g/cm^3	0,9168	0,99987
Calor específico en cal./g	0,487	1,0074
Cond. Térmica en cal./cm.s.ºC	0,0057	0,0014

Es decir, el hielo es menos denso que el agua, tiene menor calor específico que el agua (aprox. la mitad) y tiene una conductividad térmica cuatro veces mayor.

Volviendo a las propiedades físicas, vamos a considerar la densidad, ya que ésta depende en parte de la cantidad de iones disueltos. Esta cantidad no pasa de 1 g/l (recordemos que el agua de mar contiene 35 g/l); esto sin contar las aguas salobre y lagos interiores de salinidad alta (Mar Muerto), que también lo estudia la Limnología, pero son la excepción que confirma la regla. La densidad de un agua con 1 g/l de iones, es de aproximadamente 1,00085 g/ml (agua de mar 1,02822).

Comoposición relativa comparada del agua de mar y agua dulce, en % de equivalentes de los principales iones:

	Agua de mar	Agua dulce
ion Ca	3,42	63,5 - 68,2
ion Mg	17,6	17,4 - 25,4
ion Na	77,2	4,5 - 15,7
ion K	1,65	1,9 - 3,4
ion Sr	0,05	------
ion Cl	90,2	3,9 - 10,1
ion sulfato	9,3	10,0 - 16,0
ion bicarbonato	0,39	73,9 - 85,4
ion Bromo	0,17	-------
ion F	0,01	-------

Visto este cuadro se puede decir que el agua de mar se caracteriza por el cloruruo sódico y el agua dulce por el bicarbonato cálcico. Una manera de hallar la salinidad o cantidad de iones en un agua es midiendo la conductividad eléctrica. En la práctica en el agua de mar, suponiendo una constancia de relación entre el contenido en halógenos y la salinidad, se mide la clorinidad, la cual viene a ser concentración de halógenos.

- Viscosidad: Es la resistencia que el agua opone al movimiento de un cuerpo a través de él. Su unidad es el poise - 1 g/1 cm. s, es decir la fuerza necesaria para transportar 1 gramo una longitud de 1 cm en un segundo; todo esto en el agua. Depende sobre todo de la temperatura, a 0ºC la viscosidad es el doble que a 25ºC. Este fenómeno tiene gran influencia para el plancton, que son organismos microscópicos que viven flotando en el agua. Para ellos será mas difícil mantenerse a flote a 0ºC, que a 25ºC. Es por lo que se creía antes que algunos organismos desarrollan en verano apéndices más largos para dificultar el hundimiento.

- Tensión superficial: La tensión superficial del agua con respecto al aire es la mayor de todos los líquidos. También depende de la concentración de sales y de la temperatura, pero principalmente de la primera. Las sustancias húmicas y secrecciones de algas pueden bajar la tensión superficial, o las superficies del agua, y utilizan estas sustancias para moverse más rápidamente.

- Propiedades térmicas del agua: Para acabar este capítulo del agua como medio físico, vamos a considerar el calor específico y la conductividad térmica. El calor específico del agua es bastante alto, esto quiere decir que una masa de agua, p.e. un lago, es capaz de almacenar una gran cantidad de calor. En las aguas corrientes, es una relativamente grande cantidad de calor la que se transporta aguas abajo. El agua es por ello un regulador térmico en contra de las variaciones climáticas entre el día y la noche, por ejemplo.
Otra propiedad térmica es la conductividad térmica, que se define como la cantidad de calor que en un segundo pasa a través de un cubo de 1 cm. de arista de una cara a otra, cuando entre ellas existe la diferencia de un grado. Tiene un valor bastante bajo, ello quiere decir que el transporte de calor en el agua, por las moléculas no es de importancia; éste se realiza casi exclusivamente por movimientos del agua.

Condiciones físicas en las aguas.-

Hemos visto el agua como medio físico, ahora vamos a considerar otros factores que actúan en las aguas como gases disueltos, luz, etc., que influirán en los ecosistemas acuáticos.

- Radiación solar: La luz es fundamental para cualquier ecosistema, para que las plantas puedan realizar la totosíntesis. Según el gráfico 1, se puede apreciar que a 20 metros la inmensa mayoría de la parte del espectro visible de la luz ha sido absorbida.

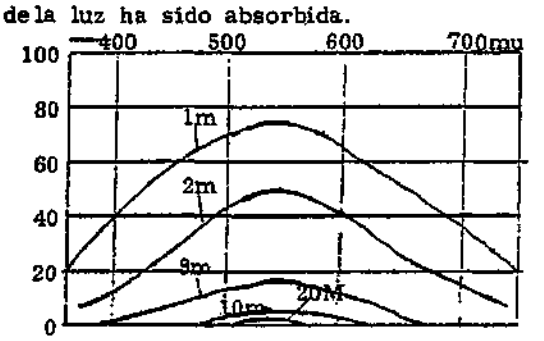


Gráfico 1

Gráfico 1 : Intensidad y composición espectral de la luz a diferentes profundidades en el lago Lunz (de Lucerna) en tantos por cientos, considerando el cien por cien la cantidad de luz que llega a la superficie. UV=ultravioleta; viol.=violeta; blau-azul; grun=verde; gb=amarillo; orange=naranja; rot=rojo.

Esto es un ejemplo de un lago. Para el agua destilada estos son los valores de los coeficientes de extinción:

Color	longitud de onda en nm	coeficientes de extinción	luz absorbida en % por metro
-----	800	1,87	84,6
rojo	720	1,05	65,0
naranja	613	0,25	22,2
amarillo	565	0,043	4,2
verde	504	0,010	0,9
azul	473	0,005	0,46
violeta	408	0,010	0,9
-----	365	0,036	3,6

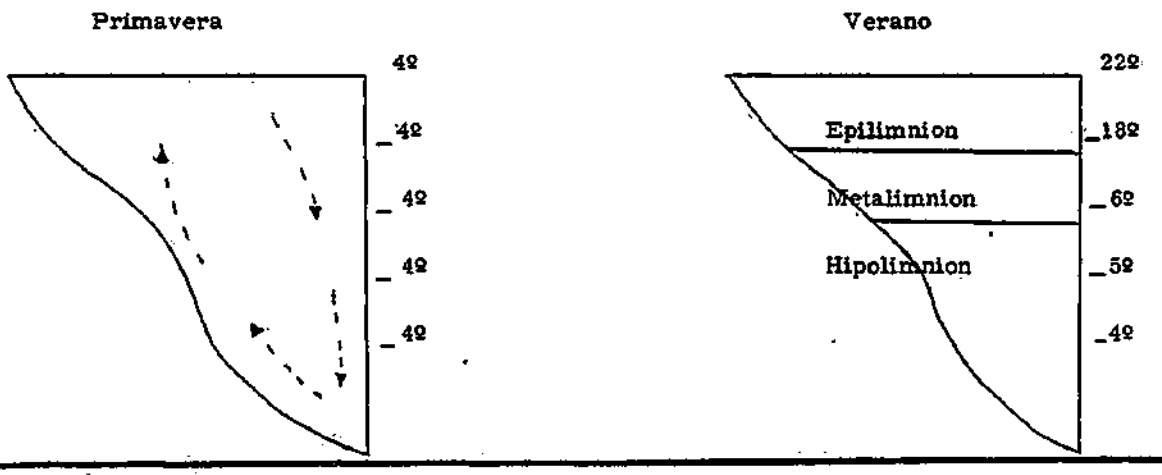
Estos valores en las aguas naturales son influenciados por todos los materiales orgánicos e inorgánicos disueltos y en suspensión. Sobre todo por los materiales húmicos amarillo-terrosos, que desplazan la transparencia hacia zonas de larga longitud de onda.

En las aguas corrientes la reflexión es mayor al no estar la superficie lisa. En los arroyos de montaña casi toda la luz llega hasta el fondo, pero en las grandes corrientes, si hay suficiente material en suspensión, en algunos decímetros se puede absorber toda la luz.

Balance térmico.-

El calor del agua viene de las radiaciones de luz solar que recibe, y como ya se ha dicho anteriormente, este calor no pasa a las masas de agua más internas por conductividad, sino más bien por movimientos de las masas de agua.

Vamos a ver ahora el balance térmico de un lago normal de la zona templada de la tierra. Podemos empezar en verano, cuando la zona superficial está calentada, pero la temperatura baja rápidamente donde ya no llega radiación solar.



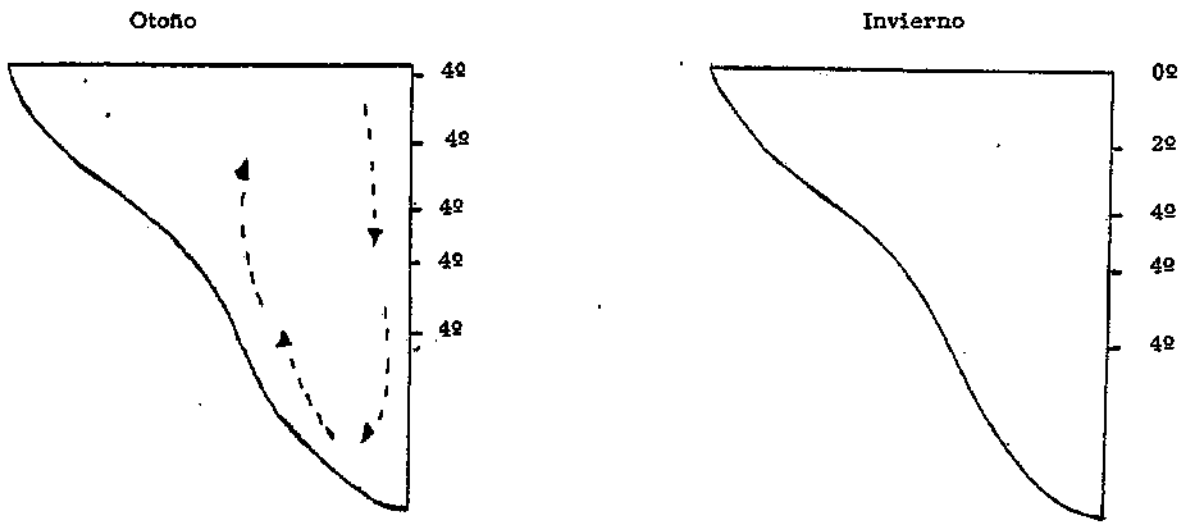


Gráfico 2: Balance térmico anual de un lago.

La zona calentada se llama epilimnión, en ella se realiza la fotosíntesis aunque ésta también se puede dar en aguas más profundas. La zona siguiente, en la cual la temperatura baja rápidamente, 1ºC cada metro, o más, es el metalimnion o termoclina. La masa de agua hasta el fondo es el llamado hipolimnion, el agua se enfría hasta los 4ºC, es decir donde está el agua de máxima densidad. Este estado se le llama estratificación térmica de verano. Cuando la temperatura va bajando, el agua se va enfriando hasta que todo el lago está a 4ºC, es decir, el agua tiene la máxima densidad y toda ella tiene igual densidad. Entonces el viento puede mezclar toda la masa de agua, desapareciendo la estratificación. Incluso con una clara estratificación estival si el viento es lo suficiente fuerte puede mezclar masas de agua relativamente grandes. Cuando la temperatura baja más y el lago se cubre con una capa de hielo, tenemos la estratificación invernal, con capas de agua más frias arriba. En primavera, cuando la capa de hielo se derrite, y toda la masa de agua vuelve a estar a 4ºC, entonces -- ocurre la circulación de primavera; toda el agua se mueve, y cuando empieza el verano, el ciclo se cierra.

Todo esto tiene una gran importancia para los lagos, en las estratificacinnes, las masas de agua no intercambian materiales, por ejemplo el oxígeno se puede agotar en el hipolimnion en verano, si cae gran cantidad de materia orgánica del fondo. No se prodrá oxigenar hasta la circulación otoñal. O se puede agotar el fósforo en el epilimnion, u otras cosas pueden suceder, que no se solucionan hasta una nueva circulación.

Debido a este fenómeno los lagos se clasifican en:

-Monomícticos frios: Lagos polares y subpolares, sólo en los meses de verano hay circulación, en el resto del año se da estratificación invernal.

- Dimícticos: De la zona templada, con dos circulaciones al año, es el ejemplo visto anteriormente.

- Monomícticos: Templados y subtropicales, no se hielan en invierno, luego hay circulación durante el invierno; pero en verano la estratificación puede durar más de tres meses. A este tipo pertenecen la inmensa mayoría de los lagos españoles.

- Oligomícticos: Lagos tropicales, la temperatura superficial raramente baja de los 20ºC, y varía poco durante el año. La mezcla vertical es ocasional y raramente llega al fondo. Es decir, no hay circulación total, por eso se llaman meromícticos (circulación no total) u oligomícticos(pocas circulaciones).

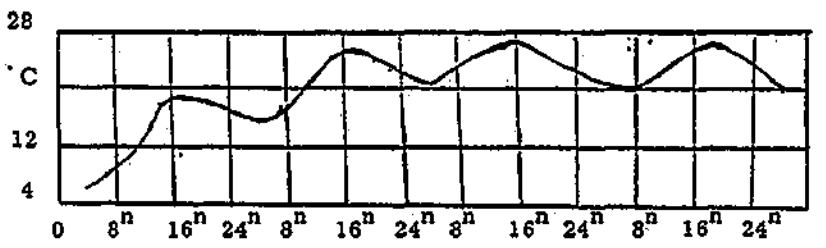
- Polimícticos calientes: Lagos con circulaciones totales regulares, si la noche es lo bastante fría; son lagos de los trópicos.

- Polimícticos ríos: Lagos tropicales de alta montaña, con circulación total; diariamente por la noche.

Los lagos con circulaciones totales, ya sean una o varias, son llamados holomícticos, en contraposición con los meromícticos, de circulación no total.

Esta clasificación fué realizada en 1.956 por HUTCHINSON Y LOFFLER, y no se ha variado sustancialmente desde entonces.

En las aguas corrientes el balance térmico también depende fundamentalmente de la radiación solar, además del intercambio de calor con el aire y el lecho de la corriente. Sobre todo con el aire el intercambio es muy importante, por ello las aguas corrientes tienen una variación diurna de la temperatura más o menos amplia; porque también depende de la cantidad de agua que se transporta. Las fuentes tienen una variación anual y diurna muy pequeña, la temperatura viene a ser la temperatura media del aire (media) en ese lugar. Aguas abajo la temperatura aumenta en verano, este aumento tiene un carácter rítmico, con repeticiones cada veinticuatro horas. (gráfico 3). Cuanto más aguas abajo más aumenta la temperatura durante el día; de todas maneras, siempre la temperatura de un río viene influenciada por la de aguas arriba.



Hráfico 3: Cambios de temperatura en una corriente.

Comunidades acuáticas:

Divisiones de un lago: La zona libre del agua es la zona pelágica, y la del fondo la zona bentónica. La comunidad característica de la zona pelágica en el plancton, que son seres microscópicos principalmente bacterias, algas, copépodos, rotíferos y cladóceros, que flotan en el agua. Sin embargo su sino es hundirse lentamente, al ser su densidad algo mayor que la del agua. Los animales (zooplancton) tienen más autonomía, y algunos pueden realizar migraciones verticales periódicas; pero el fitoplancton (plantas) acaba por hundirse. El fitoplancton realiza la fotosíntesis, y se halla sobre todo en las capas más superficiales, ya que en las más internas no penetra la luz.

Otra comunidad importante de la zona pelágica es el necton, que son organismos que se pueden mover con independencia de corrientes y de densidades. Está formada casi exclusivamente por peces.

La ribera es la zona litoral, que se divide en supralitoral, zona que sólo es mojada por el agua en

contadas ocasiones (dias de grandes olas) y el eulitoral, zona acuática, e influida por las olas (es decir, el agua está en contínuo movimiento en el eulitoral). Luego sigue la zona infralitoral, zona sumergida, con abundantes plantas acuáticas, si la ribera no tiene mucho declive. En esta zona abunda el cañaveral, los juncos, y las especies del género Potamogeton. Un poco más adentro están las plantas acuáticas totalmente sumergidas, como Elodea y Miriophiyllum. A más profundidad de 8 metros no hay plantas superiores, ya que la presión hidrostática es casi de una atmósfera, y debido a la existencia de espacios libres dentro de estas plantas, no pueden aguantar mayor presión.

Característica del litoral es la comunidad de organismos microscópidos que viven en la superficie de plantas vivas, muertas y de piedras y objetos; esta comunidad es el perifiton. Además de algas son característicos del perifiton nematodos, protozoos, rotíferos y larvas de insectos.

Después del infralitoral viene la zona profundal superior, que puede tener algunas algas, que pueden aprovechar la luz que todavía llega. Por debajo está la zona profundal inferior, habitada por animales solamente. La comunidad de la zona profundal la forman larvas de dípteros (Tanytarsus, Chironomus), oligoquetos, nematodos, turbelarios y protozoos, que se alimenta de restos de materia orgánica que les llega de capas superiores.

Otras comunidades de las aguas remansadas son: el neuston y el pleuston. El neuston es la comunidad que vive en la superficie del agua: algas, hongos y bacterias, que viven encima de la superficie (epineuston) o debajo (hiponeuston). El pleuston es la comunidad de grandes plantas y animales, que nadan o flotan en el agua, como los zapateros (Gerris), las lentejas de agua (Lemna) y los helechos acuáticos (Salvinia, Azolla).

Aguas corrientes: La zona pelágica de los grandes ríos puede llevar plancton, que procede generalmente de zonas estancadas del rio. Es decir, que no existe un verdadero plancton de río o potamoplancton. Si la corriente es muy turbulenta el plancton no puede sobrevivir. Sólo se puede reproducir cuando la corriente disminuye, y haya menos turbulencia.

La mayoría de los organismos en las aguas corrientes están en la zona profundal, donde viven sujetos para que la corriente no les arrastre. Las algas por lo general colonizan las zonas de las piedras más protegidas de la corriente. Los animales también se protegen de la corriente viviendo entre las piedras o en zonas de menor fuerza de la corriente, como entre plantas, o en brazos muertos del rio, poseyendo ventosa o apéndices para sujetarse al sustrato.

Las plantas son las mismas más o menos que viven en los lagos o masas de aguas remansadas. Con los animales viene a suceder lo mismo, hay algunos típicos de aguas corrientes, como las larvas de efémeras.

El necton de los rios lo forman peces, que algunos pueden vivir también en los lagos, pero la mayoría son específicos de ellos. Incluso se puede dividir un río en zonas según los peces que habiten en cada una de ellas (zona de truchas, zona de barbos, etc. ...).

Balance de los gases y elementos presentes en el agua.

Introducción: Las aguas continentales, como ecosistemas llevan unos gases y elementos disueltos, que tendrán su influencia en estos ecosistemas. A su vez los organismos influirán en la concentración de estas sustancias al tomarlas o excretarlas, es decir al realizar sus funciones. También habrá una -

pérdida de materiales por sedimentación en el fondo. Vamos a definir un concepto inportante que es el de eutrofia, aunque más adelante se verá con más profundidad. La eutrofia es un aumento de una producción primaria de una masa de agua, como consecuencia de no haber factores limitantes, eso quiere decir tener una concentración de clorofila en la parte superficial de unos 20 mg/m^3 aproximadamente. También se puede considerar la eutrofia de una masa de agua según la cantidad de gramos de carbono que se asimilan por la fotosíntesis. Un lago eutrófico se distingue por una variedad de consecuencias derivadas de la alta producción, como el agotamiento de oxígeno en las capas inferiores durante la estratificación estival, la sedimentación de materiales, etc.

Los gases se disuelven en el agua en razón inversa a la temperatura y en razón directa a la presión (ley de Henry). Del oxígeno, nitrógeno y anhídrido carbónico, el más soluble en agua es el último:

	Presión parcial%	0ºC	10ºC	20ºC	30ºC
O_2	20,99	14,5	11,1	8,9	7,2
N_2	78,0	22,4	17,5	14,2	11,9
CO_2	0,03	1,005	0,70	0,51	0,38

(los números en mg/l).

Oxígeno: Las ganancias de oxígeno en las aguas son por disolución de la atmósfera y por fotosíntesis, y las pérdidas son por respiración, oxidación, de materia orgánica (mineralización) y por escape a la atmósfera. De esto se sacan varias consecuencias: aguas con movimiento tienen más oxígeno por disolución, la entrada de materia orgánica en el ecosistema disminuye la cantidad de oxígeno disuelto y otras más que el lector podrá deducir por sí solo.

Ya hemos dicho que en los lagos eutróficos puede desaparecer el oxígeno en las capas inferiores por desaparición al tener que oxidar a la materia orgánica que se ha fabricado en el epilimnion. Un lago con poca producción se denomina oligotrófico; en estos lagos el oxígeno está uniformemente repartido por todas las capas, debido a que estos lagos no tienen una gran producción, luego no sintetizan mucha materia orgánica y ésa se degradada rápidamente, hasta su total mineralización, incluso antes de llegar al fondo.

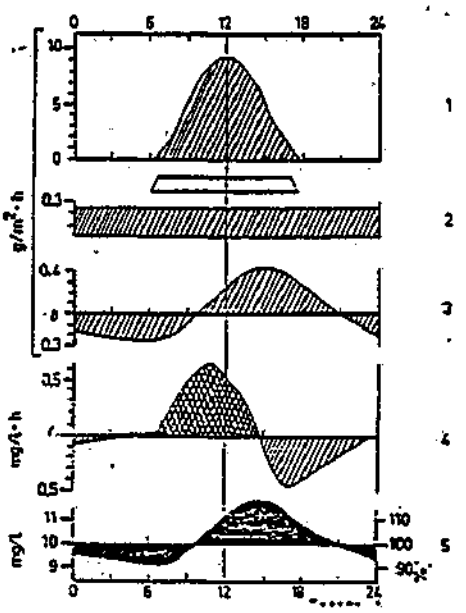


Gráfico 4

Gráfico 4:

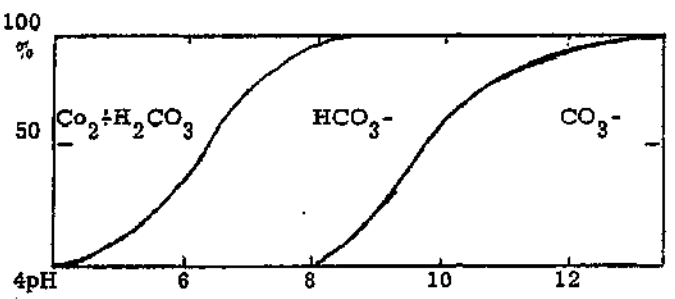
Balance de oxígeno en el tramo de un rio durante un día sin nubes.

1. Producción de oxígeno por fotosíntesis; 2. Desaparición de oxígeno por oxidación; 3. Intercambio de oxígeno entre el agua y la atmósfera; 4. Resultante de la producción oxígeno (rayado doble) y del gasto (rayado sencillo) ; 5. Balance real de oxígeno en mg/1 y % (según ODUM 1957).

En las aguas corrientes ocurre como en las remansadas, sólo que aquí juega un papel importante el movimiento de las masas de agua. Si el rio no es muy grande, la producción de oxígeno por fotosíntesis se debe más bien a las plantas del litoral que al planeton.

Sistema anhídrido carbónico-Carbonatos: El CO_2 se disuelve en el agua mejor que el oxígeno; es tomado por las plantas para hacer la fotosíntesis, y es expulsado por todos los organismos por respiración de todos los organismos. También todos los organismos o materia orgánica que se están descomponiendo desprenden CO_2.

El CO_2 al disolverse en el agua forma en parte CO_3H_2, que a su vez se puede disociar en ion bicarbonato y un hidrogenión, que también puede estar disociado en ion carbonato y el otro hidrogenión. De todas formas la mayoría de las moléculas están en forma de CO_2 (99%). El ácido carbónico es un amortiguador del pH, las cantidades de ácido y de sus iones están en relación con él.



pH	$CO_2+H_2CO_3$	HCO_3^-	CO_3^-
5	96, 2%	3, 8%	0,00001%
6	73, 2%	27, 5%	0, 0009 %
7	20, 8%	79, 2%	0,02 %
8	2, 5%	97, 2%	0,32 %
9	0, 3%	96, 6%	3,1 %

Gráfico 5: Proporciones relativas de $CO_2+H_2CO_3$, HCO_3^- y $CO_3^=$ para distintos valores de pH en agua dulce a 15º. Para otras temperaturas y concentraciónes, las curvas son un poco diferentes.

Tabla. Distribución del carbono inorgánico total en fracciones, según el ph. Temperatura 15ºC, 3cm. anchura.

El agua con CO_2 puede disolver el casi insoluble en agua carbonato cálcico, por eso a estas aguas se

las llama agresivas, el carbonato cálcico pasa a estar disuelto en forma de bicarbonato cálcico según la reacción:

$$CO_2 + H_2O + CO_3Ca \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

Si más tarde se pierde CO_2 por pérdida de presión o aumento de la temperatura del agua, la reacción corre al lado contrario, y se deposita CO_3Ca, (aguas incrustantes). Este proceso también puede ocurrir por la toma de CO_2 por las plantas.

pH: El pH varía algo con la temperatura, a 242 es de 7, a 02 es de 7,47, a 202 es de 7,03 7 a 302 es de 6,92. En el agua de mar la cantidad de otros iones varían el pH, siendo el pH neutro a 7,33.

El pH depende bastante de las plantas, ya que si éstas están en gran cantidad, toman mucho CO_2, haciendo subir el pH, y produciendo precipitación de CO_3Ca.

En las aguas dulces hay ejemplos de pH 3, y de pH 9, aunque lo normal es que un agua oscile entre 6 y 8,5.

Existen organismos que pueden vivir a pH 3 ó 4, a 8 ó 9; son los llamados organismos indicadores, ya que su presencia permite deducir el valor aproximado del pH.

Carbono: Ya se ha hablado bastante del carbono, al hablar de los compuestos en donde aparece principalmente, sólo no se ha hablado del metano CH_4, que puede aparecer en el agua por acción de algunas bacterias, pero normalmente su importancia es mínima.

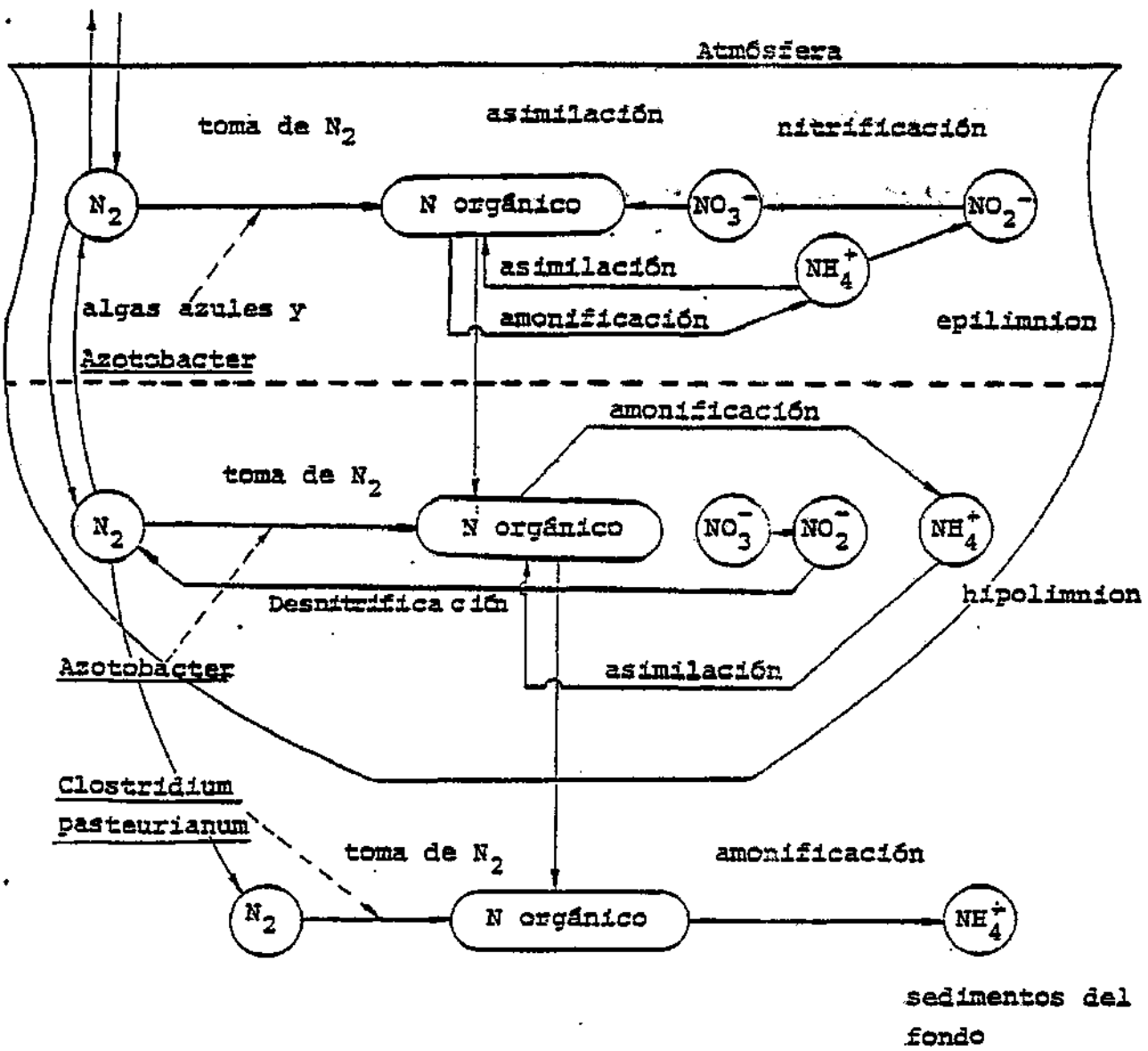
Nitrógeno y fósforo: La acumulación de C, N y P en los seres vivos es mucho mayor que en el exterior, así pues, estos elementos limitan el desarrollo de la vida, y a su vez los organismos regulan efectivamente la concentración de estos elementos, que por tanto figuran entre los de proporcionalidad variable.

En el caso del carbono, para el que el consumo es grande, hay una gran reserva que es la atmósfera, por lo que el carbono suele ser un elemento limitante, es decir, que por él no se desarrollen y multipliquen los organismos. El nitrógeno ocupa una posición intermedia, hay una gran reserva en la atmósfera y en el agua, pero sólo es asequible en forma de gas a un cierto número de bacterias y algas cianofíceas.

El fósforo es el que ocupa una posición más crítica, porque no hay una reserva en la atmósfera. Numerosos indicios aseguran que es el fósforo el que regula la producción de las aguas, que es un factor limitante a tener en cuenta.

La relación entre los tres elementos C: N: P es de 100: 14: 1; estas mismas relaciones (que son en el cuerpo de los organismos), se deben conservar en las distintas etapas de un ciclo cerrado. Puede haber grandes variaciones, cuando el sistema se desequilibra.

El nitrógeno aparece en las aguas dulces en forma inorgánica como iones nitrato, nitrito y amonio, y en forma orgánica como producto intermedio de la degradación microbiana de las proteínas y como productos de excreción de los animales.


Atmósfera
toma de N_2
asimilación
nitrificación
N_2
N orgánico
NO_3^-
NO_2^-
asimilación
NH_4^+
algas azules y
Azotobacter
amonificación
epilimnion
amonificación
toma de N_2
N_2
N orgánico
NO_3^-
NO_2^-
NH_4^+
Desnitrificación
hipolimnion
Azotobacter
asimilación
Clostridium
pasteurianum
toma de N_2
amonificación
N_2
N orgánico
NH_4^+
sedimentos del
fondo

Las plantas toman el nitrógeno en forma de nitrato y a veces también el amonio. La fijación de nitrógeno gaseoso la llevan a cabo bacterias y algas cianofíceas, por ejemplo en el lago Windermere (Inglaterra) se estima en 10 TM por año la cantidad de nitrógeno atmosférico fijada (FOGG Y HORNE). Las cianofíceas planctónicas fijadoras de nitrógeno en las aguas dulces son muy frecuentes y en cambio en el mar son rarísimas.

Las bacterias juegan un papel fundamental en las transformaciones del nitrógeno, las amoniacales transforman la urea y productos de degradación de las proteínas en amoniaco, las nitrificantes el amonio en nitrito (Nitrosomonas), y el nitrito en nitrato (Nitrobacter). Todos estos procesos son aerobios, es decir tienen que ocurrir con presencia y aporte de oxígeno. Cuando no hay oxígeno ocurre una desnitrificación por bacterias anaerobias (Nitrosoccus), el nitrato pasa a amonio y a nitrógeno.

En aguas corrientes con poca materia orgánica, la mayoría del nitrógeno está en forma de nitrato. Si hay materia orgánica, entonces puede aparecer amonio, y con suficiente oxígeno todo pasa a nitrato.

La cantidad total de compuestos inorgánicos de nitrógeno en aguas dulces no contaminadas, es del orden de 300 mg de N/m^3. El nitrato puede desaparecer en las capas superficiales si la actividad fotosintética es muy grande.

Fósforo: El ciclo del fósforo es más sencillo, pues no existe en la atmósfera. Si el pH aumenta con la fotosíntesis, una fracción considerable de fósforo en forma de fosfato precipita con el carbonato cálcico. El fosfato férrico ($FePO_4 . 2H_2o$) se produce al oxidarse el ion ferroso, que aparece en solución en condiciones de baja tensión de oxígeno. Si el sedimento vuelve a estar en condiciones de reducción, puede liberarse de nuevo fósforo; en los fangos con sulfhídrico, la formación de sulfuros de hierro acompaña a una solubilización de parte del fosfato. Pero siempre queda una parte de fósforo inmovilizada en el sedimento. Un lago funciona como una trampa de fósforo, lo cual hace reducir la cantidad de fósforo en su interior, lo que es beneficioso.

El Fosfato inorgánico está en su mayor parte en forma de ortofosfato ($H_2PO_4^-$, y sobre todo $HPO_0^=$). La parte orgánica es muy diversa, representando del 2 al 20% del total. En aguas dulces puras la concentración de fósforo es de 0,5 a 5 mg de P/m^3, en aguas menos puras hasta 50mg de P/m^3. En los lagos las grandes flucturaciones del contenido en fosfato son frecuentemente la consecuencia de la solubilización del fosfato contenido en el sedimento, cuando varían las condiciones de oxígeno.

Las tres fracciones que se consideran de fosfato son: fosfato inorgánico disuelto y fosfato orgánico particulado (organismos y detritus). El fosfato inorgánico es tomado en el epilimnion por las plantas, y con la muerte del organismo, sólo una parte sedimenta. Hay que repetir que el destino de este fosfato que se sedimenta va unido al del hierro; el fosfato se comporta en el fondo del lago como en el suelo, en condiciones aerobias se absorbe a los trozos de sedimento o precipita como fosfato férrico. Este fosfato férrico es insoluble, siempre que el potencial redox en el sedimento sea mayor que o,2 voltios. Si desaparece el oxígeno en el fondo (como en la estratificación estival en un lago autrófico), el hierro férrico se reduce a hierro ferroso y se desuelve con el fosfato. En

muchos lagos grandes cantidades de hierro y fósforo pasan en verano al agua..

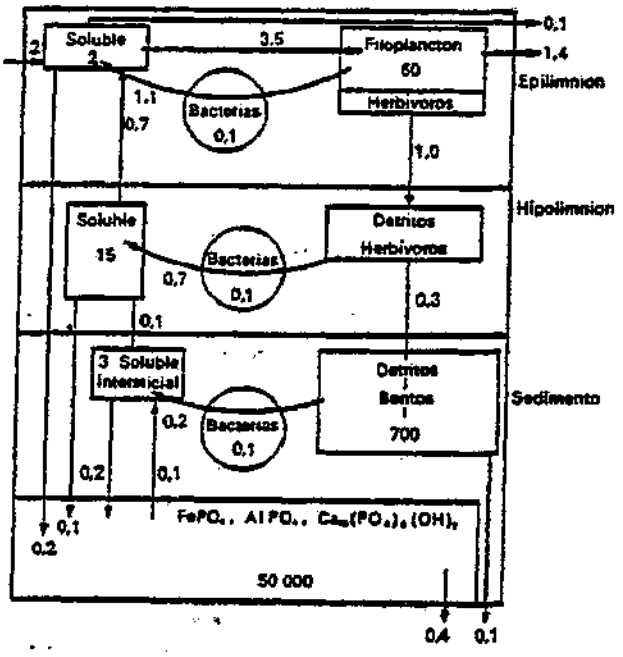


Gráfico 7: Modelo del estado de equilibrio en el ciclo del fósforo en un lago. Las cifras indican cantidad de fósforo en mg/m^3, las que están junto a las flechas mg/m^3 por día. El 20% del fósforo ingresado se pierde en forma insoluble en el sedimento.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo son de importancia para todos los seres vivos, y además determinan las especies que van a aparecer, ya que por ejemplo hay algas que toman más fósforo -- que otras.

Silicio: El silicio puede actuar también como regulador del pH, como el carbónico. El contenido de silicio en forma de ácido silícico, es de unas 10mg/1, pero estos valores se encuentran muy por debajo del nivel de saturación. Las diatomeas toman silicio del agua y puede ser un factor limitante - para ellas. Lo incorporan a la membrana y cuando mueren pasa este silicio a sedimentarse en forma de silicato. El ciclo del silicio no está todavía muy estudiado; aunque se sabe que del sedimento se puede volver a reciclar pasando al agua otra vez.

Hierro y manganeso: El hierro es un elemento vital para los organismos aunque lo necesitan en -- cantidades mínimas. Ya se ha hablado del hierro en el apartado del fósforo, pero hay que anotar - que no basta para que el hierro se reduzca el que baje la tensión de oxígeno, pues sino que tambien se necesita la presencia de SH_2 o de materia orgánica.

El manganeso acompaña al hierro y se comporta en lineas generles igual que el, aunque su concentración es mucho menor. El manganeso permanece en mayor cantidad en solución hasta valores más - altos del potencial redox. Por ello el manganeso permite detectar antes el agotamiento de oxígeno.

Azufre: El azufre inorgánico se encuentra en las aguas en forma de sulfato y así es tomado por las plantas.

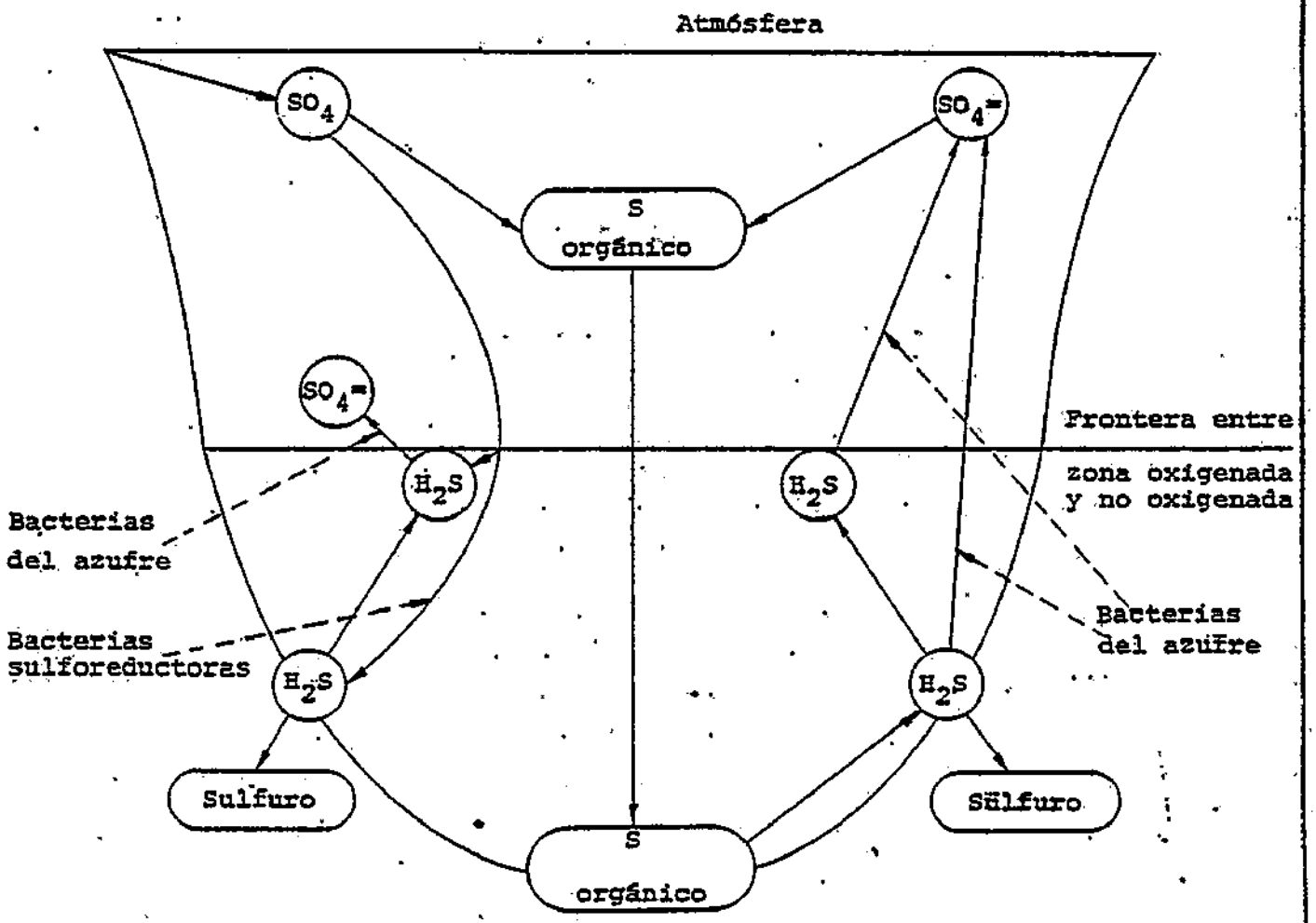


Gráfico 8: Transformaciones del azufre en un lago.

El sulfato es reducido a sulfuro, que se precipita en el sedimento. El sulfuro pasa a sulfato por -- otras bacterias (quimioautótrofas y fotoautótrofas).

Materia orgánica: La materia orgánica procede principalmente de la excreción de algas y de la descomposición de organismos muertos. Otra parte importante son los productos húmicos procedentes de los suelos que actúan como quelantes tomando iones metálicos. La materia orgánica se tratará más ampliamente cuando se hable de la contaminación.

- Ecosistemas dulceacuícolas.-

Vamos a tratar de temas más ecológicos, considerando las masas de agua como biotopos donde se asientan una biocenosis.

Primero unas consideraciones sobre los factores ambientales, que van a incidir en la producción pri

maria. Esta es la de las plantas, que depende de la cantidad y calidad de luz, de la cantidad de carbono presente, así como de los elementos vitales, como nitrógeno y fósforo, etc.

Luz: La luz que sirve para realizar la fotosíntesis es la del espectro visible, entre 390 y 710 nanómetros. De la luz que llega a la superficie del lago, se emplea para la fotosíntesis entre el 0,001 y el 3%. La profundidad, cuando sólo queda el 1% de la luz que llega a la superficie, porque el resto ha sido absorbida, marca aproximadamente el nivel de compensación y por debajo no es posible una producción neta porque la desasimilación es mayor que la asimilación. La zona por encima que tiene una alta producción primaria es la zona trofogénica, y por debajo es la zona trofolítica. La profundidad a la que se sitúa este nivel de compensación oscila entre unos pocos centímetros hasta 30 metros y depende de la transparencia del agua. Esta transparencia depende de los materiales que lleve el agua como de la cantidad de plancton, ya que éste hace sombra, y si hay mucho en las capas superiores, deja pasar poca luz.

Cantidad de carbono disponible: En el agua hay CO_2, ácido carbónico, bicarbonato y carbonato; según como tomen las plantas el carbono tenemos:

1. Tipo Fontinalis: sólo toman el anhídrido carbónico disuelto, como Fontinalis, otros musgos acuáticos y el alga roja Batrachospermum

2. Tipo Elodea: Así se comportan Elodea, Myriophyllum y otras plantas superiores acuáticas, asimilan además del CO_2, y el ion bicarbonato, aunque éste cinco veces más despacio.

3. Tipo Scenedesmus: Como el alga planctónica Scenedesmus quadricauda, y se cree que también bastantes algas planctónicas, que prefieren tomar ion bicarbonato mejor que CO_2.

El Carbono no suele ser un factor limitante, sólo en aguas poco cálcicas.

Movimiento del agua: Este factor tiene su importancia en aguas corrientes, porque se ha demostrado que es favorable para la producción primaria para el perifiton y plantas acuáticas. Pero no se ha podido ver si también aumenta la respiración y excreción de estos organismos, lo que significaría un aumento general de metabolismo.

Fósforo: Las algas planctónicas por lo general toman más fosfato que el que les hace falta y lo almacenan en forma de polifosfato. Con estas reservas pueden vivir durante algún tiempo en aguas sin fósforo.

La cantidad de fosfato que necesita cada especie de algas varía, por ejemplo el óptimo para Asterionella formosa es de 0,002 mg P/1. Hay algas que almacenan hasta 500.000 veces la cantidad de concentración fósforo que hay en el agua (Nitzschia).

Nitrógeno: No suele ser factor limitante para las plantas, salvo que existan grandes cantidades de fósforo, por aportaciones de aguas residuales, como es el caso del lago de Zurich. Las plantas lo toman generalmente como nitrato.

Calcio y magnesio: son elementos esenciales, aunque la cantidad mínima puede variar según la especie, dándose también especies indicadoras de aguas duras y aguas blandas.

Distribución temporal y espacial de los productores:

En los lagos se da una sucesión cíclica de fitoplancton, con periodos de un año. En primavera y otono se suele dar un máximo de diatomeas, y en verano aparecen algas verdes y azules, siendo en invierno un plancton escaso de diatomeas y crisofíceas. Esto es generalizando, porque en lagos oligotróficos se dan pocas algas verdes en cualquier época del año.

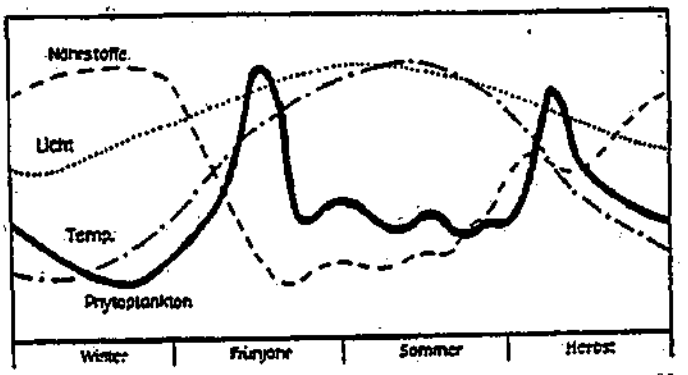


Gráfico 9: Distribución anual del fitoplancton de un lago. (Nahrstoffe=nutrientes, Licht=luz, Temp.= temperatura.

La distribución espacial del fitoplancton de un lago depende sobre todo de la distribución de la luz y de la capacidad de flotación de las algas. Como medida de la producción se puede considerar la reproducción. Por ejemplo, el máximo de reproducción de Asterionella formosa en el lago de Constanza está entre 1 y 2 metos (GRIM).

Pero siempre, grandes cantidades de algas se hunden porque no se puede hablar de que el plancton flote, si no de hundimiento lento; aunque a veces pueden ser elevadas las células por corrientes de turbulencia. Entonces la velocidad de reproducción ha de ser mayor a la de hundimiento.

El plancton suele tener el máximo de producción entre 1 y 2 metros de profundidad. Va disminuyendo con la profundidad, aunque en lagos de poca producción pueden tener su máximo a 5 o 10 metros de profundidad. Algunas especies de algas tienen su máximo de reproducción lejos de la superficie, ya que utilizan mejor la luz solar.

Los lagos tienen una producción primaria mayor que la de un océano (hay que recordar que el fitoplancton es más denso en un lago que en el océano), pero por debajo de prados y de los corales.

La parte que las plantas superiores litorales tienen en la producción primaria de un lago, es del 2 al 5% de la del fitoplancton. Puede ser mayor en lagos con riberas bien desarrolladas, debido a su morfología. Al contrario de lo que ocurre en la zona pelágica, la producción primaria es consumida por las bacterias que mineralizan en parte la materia orgánica de las plantas muertas. En la zona pelágica, las bacterias se alimentan principalmente de las excreciones de las algas.

En las aguas corrientes, los productores primarios más importantes son o perifiton o fitoplancton o

plantas superiores sumergidas (musgos, fanerógamas). En los pequeños arroyos es el perifitón, que crece en piedras y en otros sustratos. El perifiton puede tener hasta una producción de 500 g/m^2 por día.

En rios grandes es el plancton, que puede ser activo, aunque la velocidad del agua pueda ser notable. Se ha medido que la producción primaria del Rin en Coblenza es de 1,6 g. de O_2/m^3, por día (KNOPP), para el Danubio en Kelkheim, es de unos 3 g/m^3.

La producción primaria de las plantas superiores puede ser mucho más alta que en los dos casos anteriores en rios que corren por llanuras y que tienen riberas muy desarrolladas.

Bacterias fotosintéticas: Vamos a considerar las bacterias que realizan la fotosíntesis, que en algunos lagos pueden tener su importancia en la producción primaria. La fotosíntesis bacteriana es realizada por otros pigmentos parecidos a la clorofila, y no desprende oxígeno. Tres gupos de bacterias realizan la fotosíntesis: cromatiáceas, clorobiáceas y rodospiriláceas. El donador de hidrógenos no es el agua, sino el sulfhídrico o materia orgánica. Al ser anaerobia, estas bacterias se encuentran en capas de agua sin oxígeno, si aparecen en lagos tales capas (como en los de producción alta). Se han llegado a medir en lagos japoneses una producción de hasta 800 mg/m^3 de clorofila bacteriana, dando hasta el 25% de la producción primaria total (TAKAHASHI y ISHIMURA).

Vamos a considerar algunos ejemplos de ecosistemas dulceacuícolas, poniendo las cadenas alimentarias:

Zona Pelágica: Productores fitoplancton bacterias

Consumidores primarios: zooplancton herbívoro
Consumidores secundarios: zooplancton carnívoro
Consumidores terciarios: peces
Consumidores cuaternarios: peces depredadores

Las bacterias pelágicas se alimentan de productos de excrección de la fotosíntesis, y son tomadas por los consumidores primarios.

La zona bentónica tienen su ecosistema típico para aguas corrientes y remansadas:

Productores primarios: algas bentónicas y plantas superiores, restos orgánicos, bacterias.

Consumidores primarios: animales herbívoros del fondo
(larvas de insectos, caracoles ...)

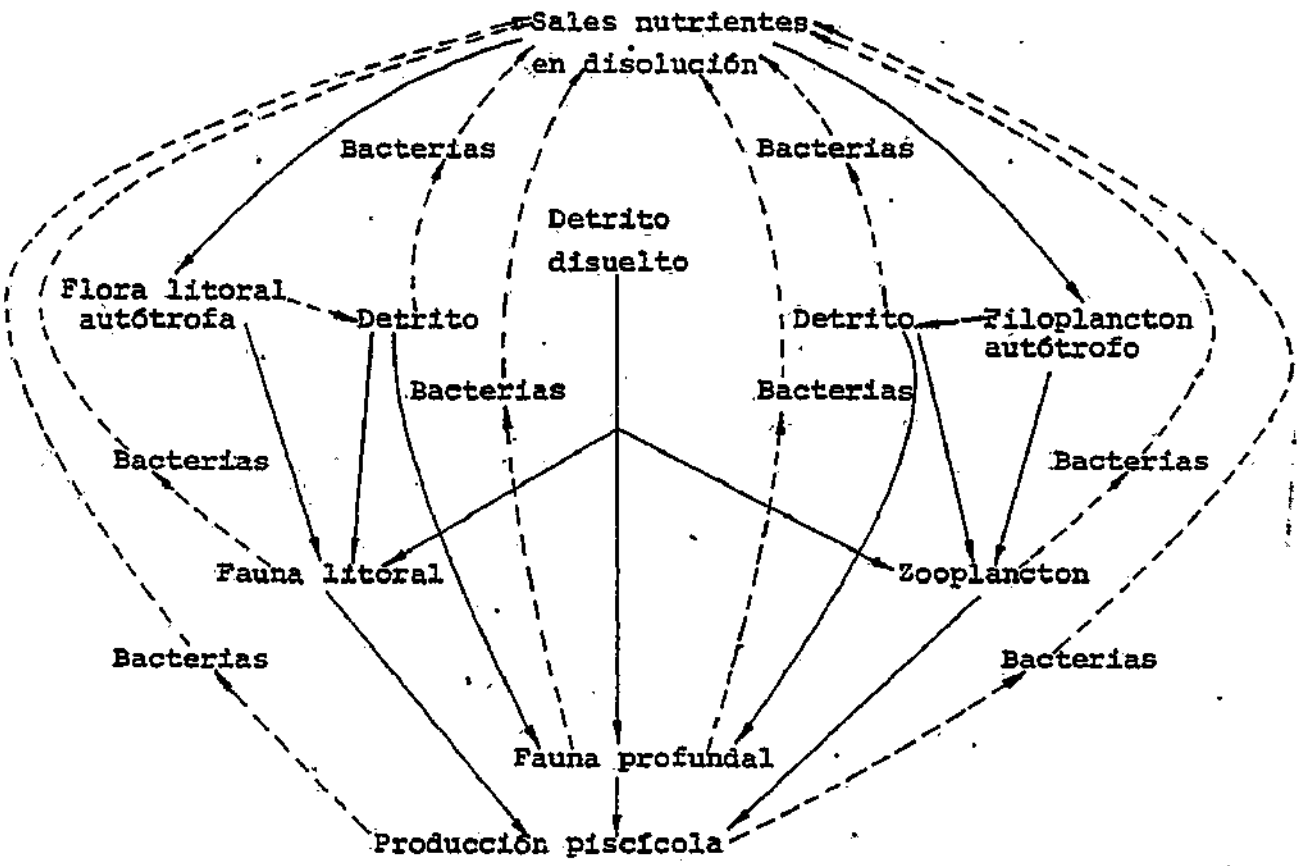
Consumidores secundarios: carnívoros del fondo
(larvas de insectos, turbelarios ...)

Consumidores terciarios: peces bénticos

Consumidores cuaternarios: peces bénticos depredadores

No hay una separación tajante entre ambas zonas. La fauna bentónica vive del material orgánico, que es producido en la zona pelágica.

Esquema del ciclo de materia en un lago



En todos estos pasos hay una pérdida de energía, como en todo ecosistema, una parte se respira y otra es excretada.

Alimento: Excreción + respiración + materia viva (será utilizada para el siguiente nivel).

Como ejemplo tenemos el lago Erken (NAUWERCK):

Productores primarios	160mg/cm^2
Consumidores primarios	43mg/cm^2
Consumidores secundarios	7mg/cm^2
Consumidores terciarios	0,01mg/cm^2

Esto en peso seco por año, y en un centímetro cuadrado de superficie (toda la columna de agua por debajo, que tiene de base 1 cm^2).

- Contaminación de los ecosistemas dulceacuícolas.-

La contaminación puede ser de materia orgánica o inorgánica, vamos a considerar primero la inorgánica.

Contaminación inorgánica: La más importante es la debida a iones metálicos, que algunos se pueden acumular en los animales filtradores, como los Moluscos. En las aguas residuales industriales, algunos iones como plomo y mercurio, pueden alcanzar concentraciones peligrosas. Los ecosistemas desaparecen casi totalmente, sólo algunas algas pueden quedar. Actualmente se investiga para encontrar organismos que sean resistentes a iones, para que las aguas no se queden sin vida. Es decir, fabricar ecosistemas, para que el ciclo de la materia se realice.

Materia orgánica: La materia orgánica en suspensión se denomina seston, siendo la parte viva el plancton y la parte muerta, el tripton. Parte del tripton es de naturaleza inorgánica, la porción orgánica consiste en restos y excretas de animales, formando partículas de todos los tamaños, hasta llegar a micelas y moléculas orgánicas verdaderamente en solución. Evidentemente, es muy difícil decir donde empieza la materia orgánica y donde acaba la disuelta.

La cantidad de material orgánico en suspensión en las aguas, supera a la cantidad de plancton vivo. En el agua dulce, de una a diez veces más: puede decirse como cifra indicativa la de 5 a 50mg/l.

Igualmente difícil es decir cual es la situación de la fracción coloidal, que se puede considerar intermedia. La única definición posible es hablar de materia que pasa a través de un filtro que tenga una determinada malla (0,2 a 0,5 micrómetros). Entonces la concentración de materia orgánica disuelta, es de dos a cien veces la de la materia orgánica en partículas.

La materia orgánica procede de la materia particulada, pero también de excreciones solubles, y a este respecto, es muy importante la contribución de los organismos fotosintetizadores. Las algas unicelulares excretan del 2 al 15% de lo sintetizado, a veces más, siendo la mayor parte de lo excretado glúcidos.

Los efectos físicos de la materia orgánica, es que la tensión superficial se rebaja, y que hace al agua fluorescente.

La materia orgánica degradable lo va siendo por las bacterias, es lo que se denomina mineralización de la materia orgánica, es decir, hasta que la materia orgánica queda transformada en inorgánica. Ejemplo:

Proteína → Polipéptido → aminoácido → amonio → nitrito → nitrato

Cuando una masa de agua en movimiento recibe un gran aporte de materia orgánica, el oxígeno puede llegar a desaparecer, las bacterias llegan a ser millones por ml. y de aparecer organismos superiores, son los que necesitan poco oxígeno y se alimentan de bacterias, como los ciliados. Desde tiempo inmemorial, se ha investigado la sucesión de poblaciones desde este primer estadio hasta la total mineralización de la materia orgánica. Estas condiciones llevan en cada paso una población específica, siendo estas especies algunas sólo características de algún estado de la masa de agua; a estas especies se las conoce como indicadoras. Debido a estas investigaciones KOLKWITZ y MARSON establecieron el sistema de los saprobios, distinguiendo tres zonas principales:

- zona de los polisaprobios: con una DBO_5 a 100 ml de O_2/litro y por encima de dos millones de bacterias por ml.

- zona de los mesosaprobios: con una DBO_5 de 12 a 35 ml. de O_2/1, y de cien mil a un millón de bacterias por ml.

- zona de los oligosaprobios: con una DBO_5 de 1 a 3 ml. de O_2/1, y con menos de cien mil bacterias por ml.

Un rio que reciba un aporte considerable de materia orgánica, pasará por los tres estados, a medida que va mineralizando la materia orgánica. Estos estados o zonas se han subdividido y se han añadido algunas más. Hoy día se reconoce una zona alfa-mesosaprobia y una zona beta-mesasaprobia, y una zona catarobia aún más limpia que la zona oligosaprobia.

Este sistema está siendo investigado de manera experimental y fisiológica, es decir, por qué están ahí ciertas especies y no en otro sitio, si es que su fisiología difiere en cada caso. Hay que decir que este sistema fué enunciado de manera empírica, por lo que tiene errores.

Eutrofización: El fenómeno de la eutrofización consiste en el aumento de los elementos llamados nutrientes, como el nitrógeno y fósforo, que son vitales para el desarrollo de los organismos.

El lago eutrófico es aquel que padece de este aumento, lo que le ocasionará múltiples consecuencias, que ahora veremos.

El lago oligotrófico, es aquel que tiene una producción baja, porque algún elemento vital o nutriente no está en cantidad suficiente para un alto desarrollo de las plantas.

Este aumento de nutrientes se puede deber a aportes inorgánicos, como detergentes o abonos, u orgánicos, como aguas residuales.

Si el aporte orgánico es elevado, la materia orgánica puede sedimentar en el fondo del lago (la de suspensión). O puede haber una mineralización por las bacterias y entonces esta materia inorgánica es tomada por las plantas para la fotosíntesis. Entonces aumenta el plancton, que al morir sedimenta en el fondo, donde esta materia orgánica en putrefacción va consumiendo oxígeno. Si el lago está estratificado, no hay mezclas de las masas de agua, por lo que el oxígeno se puede llegar a agotar en el fondo.

El hombre ha hecho a muchos lagos eutróficos, porque en la naturaleza la eutrofización se puede dar, pero un lago vuelve a ser oligotrófico, si no recibe nuevos aportes.

Este cambio de un lago a la eutrofia, hace que los ecosistemas cambien. El plancton se hace más denso, y en vez de diatomeas y crisofíceas, aparecen florofíceas y cianofíceas. En el zooplancton desaparecen las especies de larga vida y carnívoras, y aparecen pequeños rotíferos y copépodos, que son filtradores y se alimentan de fitoplancton. En el bentos, la larva del díptero Tanytarsus es sustituida por la de Chironomus, y por los gusanos tubifícidos. En el litoral aparecen muchas plantas como Myriophyllum, Potamogeton, Scirpus, Phragmites, Typha, y mayor densidad de aves acuáticas, como las anátidas.

El proceso de la eutrofización se creía antes que era un proceso natural, una sucesión. Hoy en día se cree que es una regresión la fertilización de las aguas, proceso que toda masa de agua actualmente padece en mayor o menor grado, debido a la acción humana. Si los lagos dejaran de recibir aportes cargados de materia orgánica, detergentes, etc. volverían a ser oligotróficos al cabo de unos años. Una lago oligotrófico es un sistema maduro, poseen un cociente producción/biomasa bajo y un índice de diversidad de especies alto, parámetros ambos característicos de ecosistemas maduros. Además el número de especies parásitas es más alto que en un lago eutrófico, señal de su madurez. En un lago eutrófico, la diversidad de especies desciende aunque aumente la producción, y el número de especies parásitas es pequeño, senal del que el ecosistema no está asentado.

La disminución del índice de diversidad se debe a dos causas: muchas especies menos resistentes mueren, y por otro lado, los efectos fertilizantes favorecen a las especies capaces de una rápida multiplicación.

Consideraciones sobre la contaminación.-

La contaminación es un concepto legal, el agua está contaminada cuando no se puede utilizar para lo que deseamos.

En la contaminación orgánica se acumulan de manera exagerada materia orgánica. La contaminación química resulta de sustancias poco frecuentes en la vida natural. a las que no ha tenido ocasión de adaptarse todavía, que penetran en las células y bloquean reacciones del metabolismo. Tales como el estaño, plomo, mercurio y níquel. De ellos, el mercurio y el cadmio en pequeñísimas concentraciones son venenosos.

Pero los peores y más problemáticos son los pesticidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas), algunos son completamente orgánicos, otros tienen metales en su molécula. Estos pesticidas no son degradados por los organismos y se acumulan en las células, disminuyendo su reproducción o produciendo enfermedades.

Una clase especial de contaminación o mejor dicho dos clases, son las contaminaciones térmicas y radiactivas, que van unidas en la contaminación de las centrales nucleares. La contaminación radiactiva, es decir, el aumento de las radiaciones, origina lo mismo que una contaminación orgánica: un aumento de la producción y una disminución en la diversidad de especies (si es de hasta 8000 rads). (un rad=absorción de 100 ergios por gramo de tejido vivo). Pero generalmente no existe información paralela, sobre la radiación en condiciones normales de vida, y se hace difícil hacer una evaluación ecológica de los datos publicados.

La contaminación térmica hace aumentar la temperatura en unos grados a las masas de agua. Al aumentar la temperatura aumenta también la velocidad de las reacciones metabólicas, lo que origina el que los organismos coman más, y se reproduzcan más de prisa. Se pueden presentar desequilibrios si el aumento de las necesidades metabólicas de los organismos no encuentra un correspondiente aumento en la cantidad de alimento. Todo este proceso también altera las poblaciones de los ecosistemas, y a veces la rotura de los ciclos.

- DAJOZ, R. "Tratado de Ecología". Ed. Mundiprensa. (2ª ed. castellano) (1979).

- HERNANDEZ BERMEJO, J.E. "Principios básicos de Ecología". Monografías de la E.T.S. de Ingenieros Agrónomos de Madrid. (nº 31) (1977).

- HERNANDEZ BERMEJO, J.E. y SAINZ OLLERO, H. "Ecología de los hayedos meridionales ibéricos: el macizo de Ayllón". Mº de Agricultura, Serie: Recursos Naturales. (nº 1) (1978).

- KORMONDY, E.J. "Conceptos de Ecología". Ed. Alianza. (1973).

- MARGALEF, R. "Ecología". Ed. Omega. (1978).

- RAMADE, F. "Elementos de Ecología Aplicada". Ed. Mundiprensa. (1977).

REFERENCIAS

- HERNANDEZ BERMEJO, J.E. "Principios básicos de Ecología". Monografías de la E.T.S. de Ingenieros Agrónomos de Madrid. (nº 30).(1978).

TEMA 4

MEDIO FISICO-RECEPTORES

ELABORADO POR :

D. JIMENEZ BELTRAN (CAPITULO 1)

J. CATALA ALEMANY (CAPITULO 2)

M. COLMENAREJO MORCILLO (CAPITULO 3)

J. LONGAS MARIN (CAPITULO 3)

A. CRUZADO (CAPITULO 4)

S. GONZALEZ ALONSO (CAPITULO 5)

INDICE

Pág.

1.- PLANTEAMIENTO BASICO 1
2.- ATMOSFERA. METEOROLOGIA. CLIMATOLOGIA 2
3.- AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS. PARAMETRIZACION 36
4.- AGUAS MARINAS. OCEANOGRAFIA. PARAMETRIZACION 64
5.- SUELOS. EDAFOLOGIA. PARAMETRIZACION 80

Como dice la 2ª ley de Barry Commoner "todo va a parar a algun sitio", y es este aspecto del receptor al que finalmente va a sociada toda la problemática ambiental y mas especificamente la contaminación, entendida como "Presencia de ciertos elementos (o energias), en ciertos medios, en concentracciones no deseadas y tales que puedan afectar al bienestar y salud del hombre o ser una amenaza de la naturaleza". En consecuencia, la contaminación solo puede plantearse en base a un buen conocimiento de los receptores.

En este tema, se pretende hacer una descripción del medio físico, como receptor primario de la mayoría de las alteraciones ambientales y, fundamentalmente, a través de los parámetros (traducidos a veces en factores ambientales) que les caracterizan tanto desde el punto de vista cualitativo (Composición, estética...) y cuantitativo (Espesores, distribución) como, sobre todo, funcional, siendo importante a este respecto, sus características dinámicas (corrientes, vientos, difusión,....) que determinan su comportamiento como vector de trasmisión de las alteraciones primarias y que, en muchos casos, sus criticas para una ampliación o atenuación, de las alteraciones primarias y, en consecuencia, del efecto sobre el receptor final o el hombre.

La razón fundamental para tratar el medio físico en un tema aparte es para poder hacer un planteamiento integrado del mismo y no parcial, bajo la tipificación atmosférica, de las aguas, de los suelos.

Como se ha señalado anteriormente, una primera clasificación de los receptores podría intentarse por su situación en la cadena causa-efecto, primarios, secundarios, clasificación que no es de aplicación general ya que depende de cada problema específico no obstante sí pueden apreciarse, aun dentro del medio físico, una jerarquización de los receptores en este sentido, y que planteándolo en orden y considerando receptores homogéneos sería:

- Medio atmosférico
- Medio hídrico : Aguas superficiales
  Aguas subterráneas
  Aguas marinas
- Suelos

Siendo este el orden en que se han planteado los capítulos del tema, al objeto de acercarnos al tratamiento integral a través de una progresión en el conocimiento de los receptores que se aproxime a la sucesión en que pueden evolucionar o degradarse.

Por último, hay que señalar que el intento de formación o especialización de técnicos ambientales, sobre todo en Ingeniería, en disciplinas más concretas u homogéneas que no obedecen a una clasificación en la cual unas actuaciones aparecen siempre desde la base de la actividad generadora del problema (Industria, agricultura, Centrales Nucleares...), sino también la de previsión (medicina preventiva), la cual se hace fundamentalmente a través de la planificación y especificamente, de la asignación de usos al medio físico soporte de la actividad humana, o biotopo, y que aquí tratamos como receptores, lo cual le da un gran peso a este tema y que nos puede disculpar de la redundancia de volverlos a considerar en temas específicos del área mas concretamente de Ingeniería Ambiental.

2.1. INTRODUCCION

Papel activo de la atmósfera en el problema de la contaminación del aire

En la Fig. 4.2.1 se esquematiza el eco-sistema "polución del aire"; el tamaño de tal sistema puede ser tan pequeño como el de una aldea o tan grande como toda la tierra; pero en todos los casos la atmósfera es un componente activo e integral, que transporta sustancias de focos a receptores y actúa diluyéndolos o dispersándolos hasta niveles aceptables. Lo que ocurre es que el ritmo al que se produce la dispersión varía de un lugar a otro, así ocurre con el tiempo, dependiendo fundamentalmente de las características meteorológicas del ecosistema. A veces, la ventilación natural propia de la atmósfera es muy pequeña y la calidad del aire se deteriora seriamente; otras, por el contrario, la polución se dispersa espontáneamente en un gran volumen del aire, por lo que a igualdad de focos emisores los niveles de contaminación, se mantienen bajos. Por esto, como dice Slade (1), "debido a que la atmósfera es normalmente muy eficiente diluyendo el material a ella vertido, resulta ser, dentro de ciertos límites, económicamente inadecuado, ignorar totalmente, o utilizar inadecuadamente, tal capacidad dispersiva"... pero para ello hay que tener un profundo conocimiento de la Física de la Atmósfera y de las circunstancias que determinan su poder difusor.

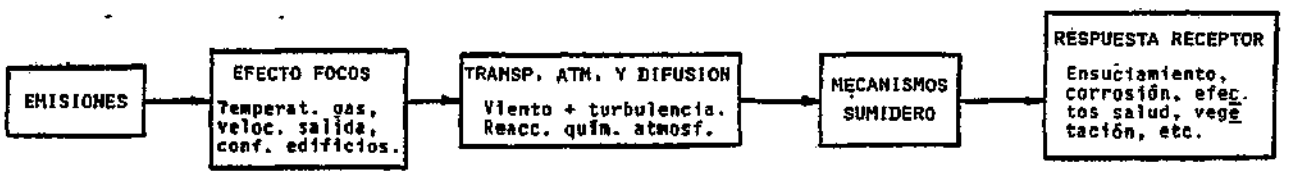


Figura. 4.2.1

Por esto no es de extrañar que en la introducción de la bien conocida y clásica obra de Stern (2), al expresar el autor los 3 puntos de vista que justifican el texto escribe que "nadie, cualquiera que sea su formación profesional, debería trabajar en el campo de la contaminación atmosférica y su control, a menos que conozca con suficiente profundidad el comportamiento de la atmósfera; esta es la característica que diferencia la contaminación del aire de otros campos de la ciencia del medio ambiente".

Facilitar, a quienes no lo posean, tal indispensable conocimiento, es el propósito de este capítulo, en el que tratamos de resumir lo más esencial de la Física de la Atmósfera, tema al que la mayoría de las obras que tratan de contaminación del aire dedican, por lo general, varios capítulos, ya que no en vano varias actividades de ingeniería ambiental, resultan simples aplicaciones meteorológicas; tales como las siguientes:

a) Proyecto de alturas de chimeneas.
b) Planificación de zonas industriales.
c) Predicción día a día de la calidad del aire.

d) Selección de emplazamientos para el control o monitoring urbano y regional de la contaminación.
e) Predicción del grado de exposición sufrida por un receptor.
f) Interpretación de las tendencias urbana y regional de la calidad ambiental en futuras décadas.
g) Relación entre valores standard de emisiones y criterios de calidad ambiental o inmisiones.
h) En general, determinación y predicción de la capacidad difusora de la atmósfera (vientos, altura capa mezcla, etc.).

Ejemplo: Las dos clases de smog

Tal vez el mejor ejemplo del "protagonismo" que juega la atmósfera en el problema de la contaminación del aire sea el caso de los dos tipos de smog que es capaz de producir en su seno, partiendo "casi" de análogos productos iniciales pero inmersos en condiciones meteorológicas totalmente antagónicas. En el siguiente cuadro, que no precisa comentario, pueden verse las características correspondientes al clásico smog reductor (pea soup) típico de Gran Bretaña y las del smog fotoquímico oxidante que se produce bajo el efecto de la insolación, típico de los Angeles (3).

Características	Los Angeles	Londres
Temp. aire	24º a 32º	-1º a 4º C
Humedad relativa	70 %	85 % (+ niebla)
Tipo inversión térmica	Subsidencia	Rodiano (junto al suelo)
Velocidad viento	3 m. s^{-1}	Calma
Visibilidad	0.8 a 1.6 Km	30 m.
Meses en que es más frecuente	Agosto-Septiembre	Diciembre-Enero
Combustibles	Petróleo	Carbón y derivados petróleo
Componentes principales	O_3, NO, NO_2, CO, materia orgánica.	Partículas materiales CO; compuestos de azufre
Tipo reacción química	Oxidante	Reductora
Hora más probable	Mediodía	Primeras horas matinales
Efectos sobre la salud	Irritación ojos	Irritación bronquios, tos.

Metereología y Climatología: Dos ciencias distintas

El estado de la atmósfera, es decir las condiciones meteorológicas juegan pues un papel todos los problemas relacionados con la contaminación atmósferica; dichas condiciones ref tervalo de tiempo relativamente corto (desde horas a días) determinan lo que se conoce tiempo (atmosférico). Cuando, por el contrario, se refieren a los valores medios corres período largo (unos treinta años, por lo menos) determinan lo que conocemos por clima Hacer esta distinción, que por otra parte puede parecer obvia, es importante porque cor brá que referirse a uno o a otro concepto y quisiéramos evitar el confusionismo que a na por el uso indebido de la palabra clima; basta recordar con cuanta frecuencia e impro leído u oído decir que un partido o la salida de un vuelo son retrasados, o cancelados po nes climatológicas", cuando realmente ha sido debido al "mal tiempo"... aquella nd haber determinado la no construcción del aeropuerto, pero nunca la cancelación de un vue mino "clima" no debe aplicarse a algo que sólo dura unas horas, y como escribió recier lega (4): "Del tiempo, es decir de las condiciones meteorológicas en un día dado o duran de él, depende, en último término, la capacidad de la atmósfera para diluir hasta conce tables los contaminantes en ella lanzados, y a su vez esta aptitud debería constituir el cr de las posibles emisiones. Del clima de un lugar o región depende el que las condiciones la rápida difusión se den con mayor o menor frecuencia e intensidad e incluso que no se Estas palabras hacen comprender con cuánta impropiedad se utiliza la palabra clima, inc nas cultas y lo que es peor se intentan deducir consecuencias climáticas de series tempo de muy pequeña validez estadística.

Por todo lo que se ha dicho en esta introducción queda justificado que la mayor parte de bre contaminación del aire consideren necesario dedicar buena parte de su atención a pone básicos relativos a la Física de la Atmósfera ya que, por otra parte, tales temas no figu en los programas que constituyen los estudios de ingenierías o licenciaturas, en ser el la contaminación del aire, en el que la atmósfera juega tan activo e importante papel.

2.2. LA ATMOSFERA

Composición

El aire es una mezcla de gases y aunque no lo parezca en virtud de su naturaleza gaseosa, la atmósfera posee una masa de 5.6×10^{14} Tm.; si exceptuamos el vapor de agua, las proporciones relativas de los gases se mantienen constantes hasta una altura superior a los 60 km. Alrededor del 90% lo constituyen el Nitrógeno y el Oxígeno, un notable predominio del 1º; en la tabla se da la composición de la atmósfera seca:

Componente	Volumen %	Masa %.
Nitrógeno	78,084	75.51
Oxígeno	20,946	23.15
Argon	0,934	1.2
CO	0,033	0.046

El resto está formado por minúsculas cantidades de neon, helio, metano, cripton, óxidos de nitrógeno hidrógeno, ozono, xenón, ácido nítrico y radón. Por otra parte, la cantidad de vapor es muy variable, en virtud de que la temperatura de las capas bajas de la atmósfera es muy próxima a la correspondiente al punto crítico del agua; el aire en algunas partes puede estar prácticamente exento de vapor, mientras que en otros puede llegar a contener hasta el 4% de agua; para estimaciones corrientes se suele admitir el 1% en volumen. A pesar de que el peso molecular del agua es inferior al de otros gases presentes, el vapor se encuentra concentrado en la proximidad del suelo, y el porcentaje disminuye rápidamente en la altura.

Aparte de todos estos componentes regulares, el aire lleva otros tipos de materia que no forman parte de su composición gaseosa; unos son de origen natural (cristales de sal, partículas de polvo, gotitas de agua, etc.) y otros de tipo antropogénico y concentraciones muy variables pues constituyen lo que denominamos contaminantes; como también, en algún caso, estos pueden ser de origen natural, existe gran interés por determinar los valores de fondo, en atmósfera no contaminada, labor que hasta el momento constituye más bien un propósito que una realidad.

Estructura de la atmósfera

La gigantesca envoltura gaseosa que rodea a la tierra y que se extiende hacia arriba con densidad que va decreciendo exponencialmente con la altura, no tiene límite superior, pues llega imperceptiblemente a confundirse con la amplia atmósfera solar. La disminución de densidad es de principio tan rápida que la mitad de la atmósfera se sitúa por debajo de los 5.5 Km y la mitad de lo que queda, a su vez, se encuentra dentro de los siguientes 5.5 Km; las tres cuartas partes de la atmósfera están concentradas en los primeros 11 Km, que, aproximadamente, constituyen lo que denominaremos troposfera, zona en la que tienen lugar todos los fenómenos meteorológicos que determinan el tiempo y sus variaciones.

La estructura de la atmósfera puede ser descrita de diversas formas, según las condiciones de referencia usadas; para nuestro propósito, la estratificación térmica es la más importante; de acuerdo con ella pueden verse en la Fig.4.4.2 las diversas zonas en que cabe dividir la atmósfera; dos nos interesan particularmente para nuestro estudio: la troposfera ya mencionada y la estratosfera, o región isoterma, ya que en esta última pueden producirse concentraciones de ciertos contaminantes que pudieran determinar posibles cambios climáticos, debido a la consiguiente alteración de la cantidad de ozono cuya existencia se concentra particularmente en la baja estratosfera (entre 15 y 30 Km.).

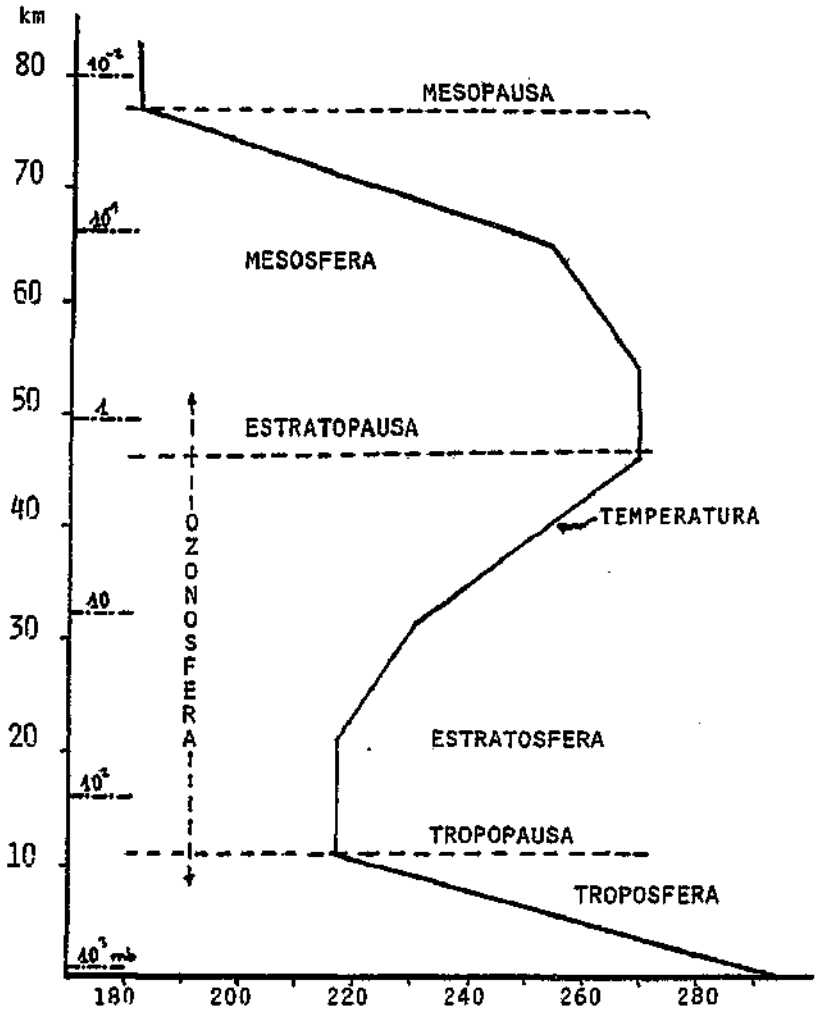


Figura 4.2.2

La zona que separa la troposfera de la estratosfera se denomina tropopausa y en promedio se sitúa hacia los 10-12 Km.; está algo más baja hacia los polos que sobre el Ecuador.

Normalmente la temperatura disminuye en promedio con la altura, desde el suelo a la tropopausa, a razón de unos 6°5 C por kilómetro, aunque el gradiente real de la temperatura con la altura, en cada lugar e instante es un dato que se obtiene mediante sondeos termodinámicos.

Los primeros 800-1000 metros, a partir del suelo, en la troposfera, constituyen una zona que en nuestro estudio merece atención especial, pues hasta ella resulta extenderse la influencia del perfil terrestre y en especial la rugosidad del terreno, así como la turbulencia mecánica que aquellos determinan.

Por otra parte, también el viento, hasta dicha altura, viene perturbado por dicha rugosidad y a medida que tal influencia va disminuyendo con la altura, el viento va aumentando en intensidad, hasta alcanzar su valor máximo o viento geostrófico, del que más adelante hablaremos. Esta variación del viento con la altura determina en esta capa planetaria superficial una cizalla que es causa de la turbulencia mecánica y actúa a modo de agente diluidor de la contaminación; de no existir causas que se opongan a esta dispersión, la altura de tal capa coincide con la de la zona de mezcla.

La estabilidad de la estratificación

- Curva de estado de la atmósfera

El carácter de la estratificación atmosférica está ligado a la variación de temperatura a lo largo de la vertical; ya dijimos que en promedio esta variación es de -0.6ºC por cada 100 metros, pero las causas suceden de forma muy distinta cuando en lugar de valores medios se representan las correspondientes a un día dado, que pueden obtenerse mediante un radiosondeo dotado de sensores de presión, temperatura humedad y viento, así como de un pequeño radiotransmisor. Los datos facilitados por el sondeo permiten construir una curva de estado de la atmósfera (Fig.4.2.3): en ella en lugar de una disminución contínua de temperatura, con la altura, se aprecia una disminución irregular; existen zonas tales como la CD en que la temperatura disminuye más de 0.6ºC/hm, otras como las ED y HI en que lo hace menos y otras como la GH en que no varía (capas isotermas); con frecuencia se encuentran regiones de la curva de estado en las que la temperatura aumenta con la altura, en vez de disminuir; tales son por ejemplo: las zonas AB y FG. Tales regiones se denominan inversiones térmicas y de ellas vamos a ocuparnos más adelante pues juegan un importante papel en relación a la contaminación atmosférica.

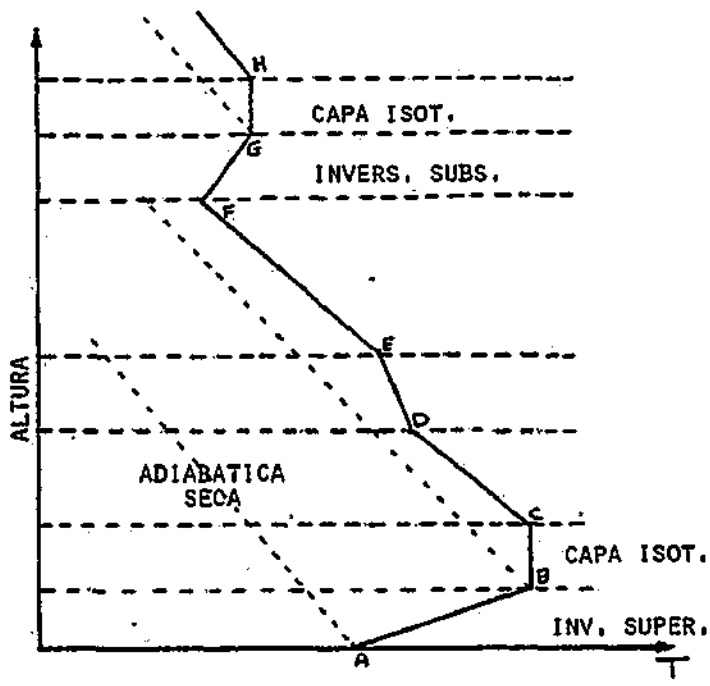


Figura 4.2.3

Las curvas de estado representan la sucesión con la altura de los estados simultáneos de una columna de aire ambiente, pero varían de un lugar a otro y, en el mismo lugar, de una hora a otra; naturalmente las regiones singulares en tales curvas deben concebirse como algo cambiente en el transcurso del tiempo, y en cada una de ellas el enfriamiento, o mejor dicho la variación de temperatura con la altura, viene determinada por su gradiente térmico vertical al que designaremos por α .

Supongamos que en el seno del aire ambiente, una "burbuja de aire", por alguna razón se eleva, por ejemplo bajo la acción de un obstáculo orográfico, o por el calentamiento desigual del suelo sobre el que se encuentra; suponiendo que tal burbuja, conservando su individualidad, va subiendo y encontrando capas de aire ambiente cuya presión es cada vez menor, para ponerse en equilibrio bárico con ellas, la burbuja se expande, en un proceso que podemos considerar adiabático y por tanto se irá enfriando (ya que el trabajo de expansión lo hace a expensas de su propia energía interna). Por el contrario, si la burbuja descendiera, sufriría un calentamiento adiabático.

La disminución de temperatura de la burbuja al elevarse adiabáticamente, o el aumento al descender, por unidad de longitud, puede calcularse fácilmente, cuando no hay condensación de vapor de agua, y resulta valer casi exactamente un grado Centígrado por cada 100 metros, dato que se conoce con el nombre de gradiente adiabático seco de temperatura y se designa por γ .

- Temperatura potencial y gradiente adiabático seco

La evolución de una burbuja que conservando su individualidad, asciende o desciende, adiabáticamente, permite introducir un concepto que resulta de gran utilidad pues corresponde a una magnitud que no varía en tales evoluciones; la temperatura potencial que es la que alcanzaría dicha burbuja al evolucionar adiabáticamente, hasta la presión de 1000mb (recordemos que la presión atmosférica normal al nivel del mar es de 1013 mb). Llamando θ a dicha temperatura y recordando la ecuación de Poisson, tendremos:

$$\frac{T}{\theta} = \left(\frac{p}{1000}\right)^k \quad ; \quad k = \frac{R}{C_p} \qquad : \quad T \ldots \text{ temperatura de burbuja a la presión } p$$

$$\theta = T\left(\frac{1000}{p}\right)^k$$

Como en una evolución adiabática θ = cte., derivando logarítmicamente tenemos:

$$\frac{1}{T}\frac{dT}{dz} = \frac{k}{p}\frac{dp}{dz}$$

y teniendo en cuenta la ecuación hidrostática:

$$dp = -\rho g \cdot dz \qquad \text{y la de los gases} \qquad p \cdot v = RT$$

$$\gamma = \frac{dT}{dz} = -g/C_p \cdot \left(\frac{R\,\rho\,T}{p}\right) = -g/C_p \simeq 9.76^{\circ}C\ Km^{-1}$$

que es el valor del gradiente adiabático seco de temperatura.

- Diversos tipos de estratificación.

Hemos visto que tanto en el aire ambiente como en la burbuja que evoluciona adiabáticamente, sin mezclarse, en su seno, tiene lugar una variación de temperatura; la del medio ambiente determinada por α y conocida para las distintas zonas por el sondeo y la de la burbuja por γ o gradiente adiabático seco de temperatura (mientras en su seno no haya condensación). La diferencia entre los valores de α y γ es la clave del carácter de la estratificación.

Consideremos el caso habitual en la atmósfera en que $\alpha < \gamma$, es decir la variación términa ambiental es menor que la adiabática (Figura 4.2.4a.): Si al iniciarse el desplazamiento de la burbuja ésta se encuentra a la misma temperatura que el medio ambiente del que formaba parte, $\begin{cases}\text{sube}\\ \text{baja}\end{cases}$ se encontrará en cada instante más $\begin{cases}\text{fría y densa}\\ \text{caliente y densa}\end{cases}$ que la masa ambiental y en consecuencia tenderá a regresar a su posición de equilibrio o de partida; en otras palabras la estratificación será estable.

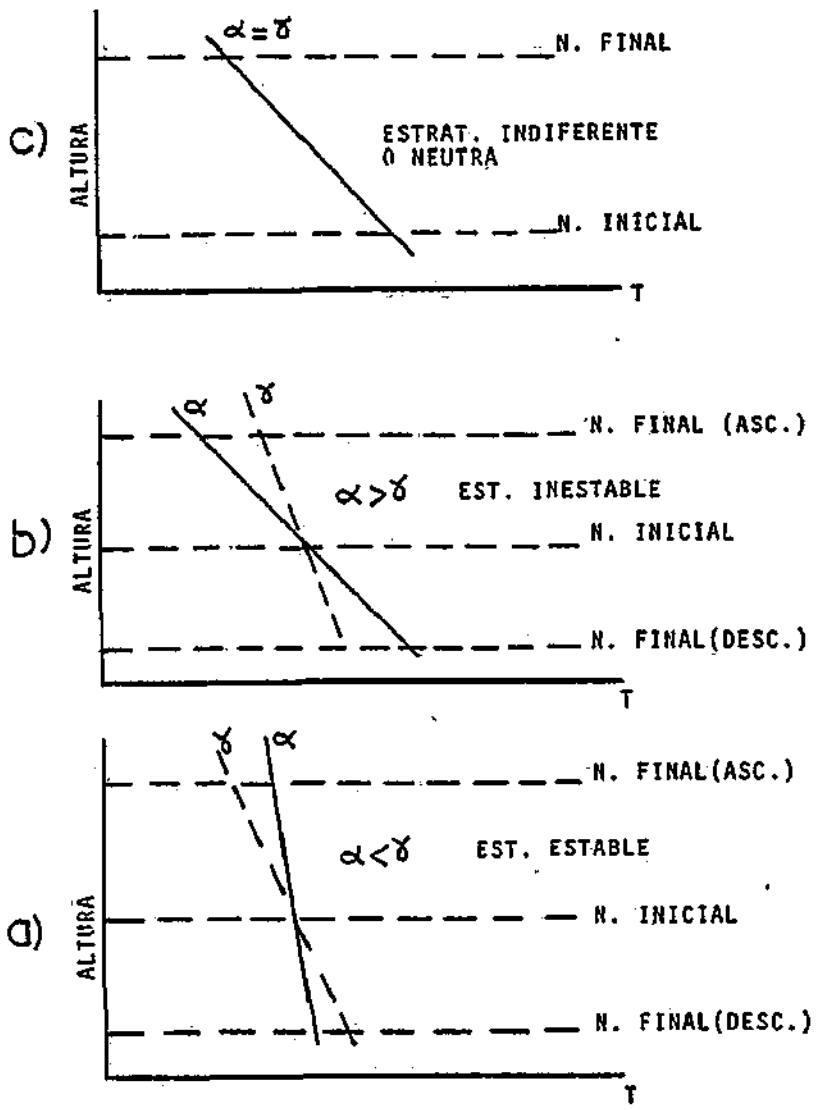


Figura 4.2.4

Por el contrario, cuando ocurra que $\alpha > \gamma$, condición que se da frecuentemente en latitudes medias o bajas en verano y junto al suelo, cuando éste es fuertemente calentado por el Sol, el aire junto al suelo

es a su vez calentado por éste y la curva de estado adopta una pendiente muy notable (Figura 4.2.4b); naturalmente esta situación se da pocas veces en la atmósfera libre, lejos del suelo. En este caso fácilmente puede observarse que si una burbuja se aleja del nivel inicial en cada posición se encontrará rodeada de aire $\begin{cases}\text{más frío}\\ \text{más caliente}\end{cases}$ si $\begin{cases}\text{asciende}\\ \text{desciende}\end{cases}$ razón por la que se verá acelerada en su desplazamiento y el equilibrio será <u>inestable</u>, (Figura 4.2.4b).

Finalmente, se comprende que cuando $\alpha = \gamma$ la estratificación será <u>neutra</u> o <u>indiferente</u>, Figura 4.2.4c.

De todo lo anterior se deduce que una atmósfera con estratificación estable tiende a eliminar las corrientes verticales, ascendentes o descendentes, y tanto más eficazmente cuanto mayor sea la estabilidad, es decir $\alpha - \gamma$. Naturalmente las <u>inversiones</u> constituyen casos extremos de estratificación estable y actúan a modo de techo, o barrera infranqueable para cualquier corriente o desplazamiento vertical. Por el contrario, la estratificación inestable activa extraordinariamente a cualquier movimiento vertical, ascendente o descendente, que se inicie en el seno de tal atmósfera. En consecuencia podemos añadir, con vistas a la dispersión de la contaminación en el seno de una atmósfera, que la estratificación inestable, al acentuar la ventilación la favorece, mientras que la estabilidad se opone a tal dispersión; por esto son tan nocivas las inversiones térmicas junto al suelo, al impedir la normal dispersión de la contaminación al resto de la atmósfera. En otro momento nos ocuparemos del mecanismo de formación de las inversiones.

Las categorías de estabilidad pueden establecerse también en función de las variaciones de la temperatura potencial con la altura; basta ver en la Figura 4.2.5. que a lo largo de la C.E.E. (curva de estado "estable") la θ aumenta con la altura, mientras que a lo largo de C.E.I. (curva de estado "inestable") ocurre lo contrario. Las líneas a trazos son adiabáticas; cuando la curva de estado coincida con alguna de ellas, θ será independiente de la altura (cota de la adiabática sobre la línea p = 1000 mb); por lo tanto resulta que si:

$\frac{d\theta}{dz} > 0$; es decir θ aumenta con z, la estratificación es estable.

$\frac{d\theta}{dz} = 0$; θ no varía con z $\longrightarrow$ neutra

$\frac{d\theta}{dz} < 0$; θ disminuye con z, la estratificación es inestable.

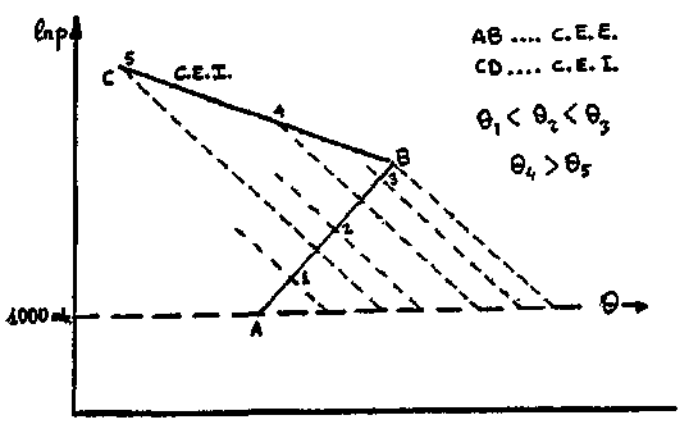


Figura 4.2.5

Naturalmente todo lo anterior se refiere a la evolución de una burbuja de aire seco, es decir no saturado; cuando el aire en su ascensión y enfriamiento llega a saturarse y se produce en su seno condensación, el enfriamiento posterior prosigue a un ritmo más lento, pues tiene lugar según el gradiente adiabático saturado, designado por γ que es del orden de 0.4 a 0.6°C/Hm, es decir inferior a γ . En tal caso las categorías de estratificación hay que establecerlas separadamente para el aire seco y el húmedo.

- Tipo de estratificación y forma de un penacho

La forma que adquiere el penacho de una chimenea puede servir para deducir el carácter de la estratificación en la parte inferior de la atmósfera. En la Figura 4.2.6. la línea contínua corresponde a la curva de estado, mientras la de trazos representa la evolución adiabática;

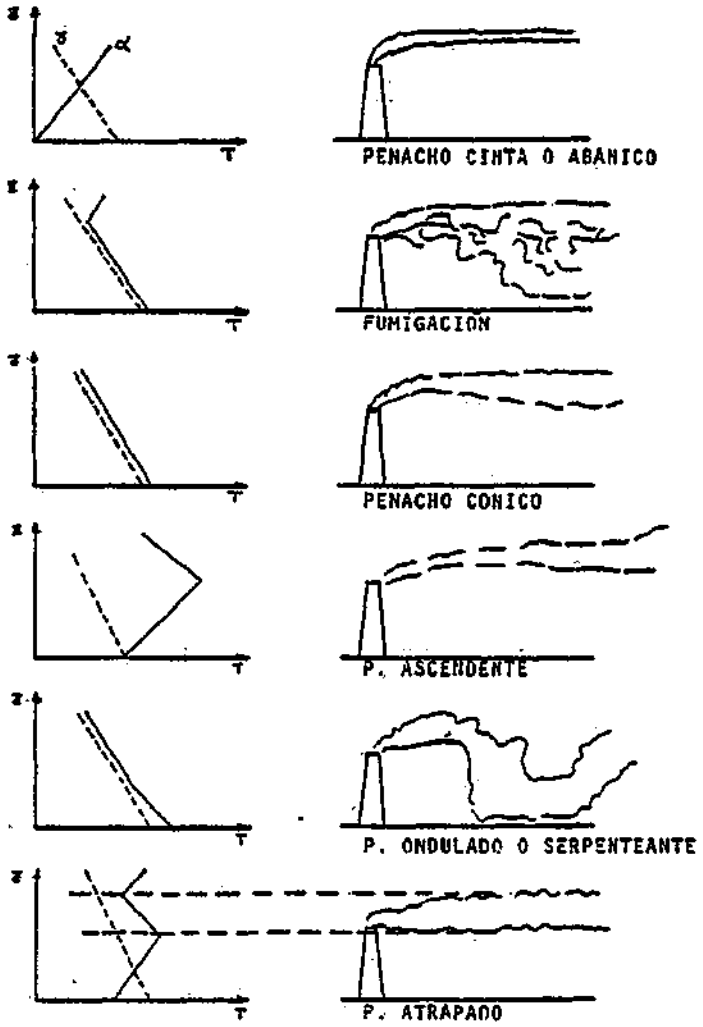


Figura. 4.2.6

la línea horizontal se sitúa a la cota de la altura efectiva de la chimenea. La forma que adquiere en cada uno de los casos el penacho recibe un nombre que describe sus características; así por ejemplo el tipo correspondiente a la a) en el que existe una fuerte inversión junto al suelo hasta una cota superior a la altura efectiva de la chimenea, el penacho se extiende en forma de cinta, pues la inversión inhibe cualquier desplazamiento vertical, pero puede abrirse un abanico en caso de que existe dispersión horizontal.

Dejamos al cuidado del lector justificar la forma de los restantes penachos, bajo la categoría de estratificación correspondiente a la curva de estado.

La inversión térmica junto al suelo y su evolución

- Origen

Es debida al enfriamiento nocturno del suelo y de la capa de aire junto a él, a consecuencia de la fuerte radiación térmica; ni la duración de la noche es suficiente y el cielo está despejado, pues las nubes actúan a modo de manto protector, dificultando tal enfriamiento, éste puede extenderse a capas de aire cada vez más amplias; este efecto queda favorecido por la presencia de calmas o vientos muy débiles y la curva de estado de la atmósfera junto al suelo suele tomar en tal caso, especialmente de Octubre a Marzo, el aspecto que se indica en la Figura 4.2.7., trazo AB, que corresponde a una fuerte inversión que suele alcanzar su cota máxima poco antes de la salida del Sol.

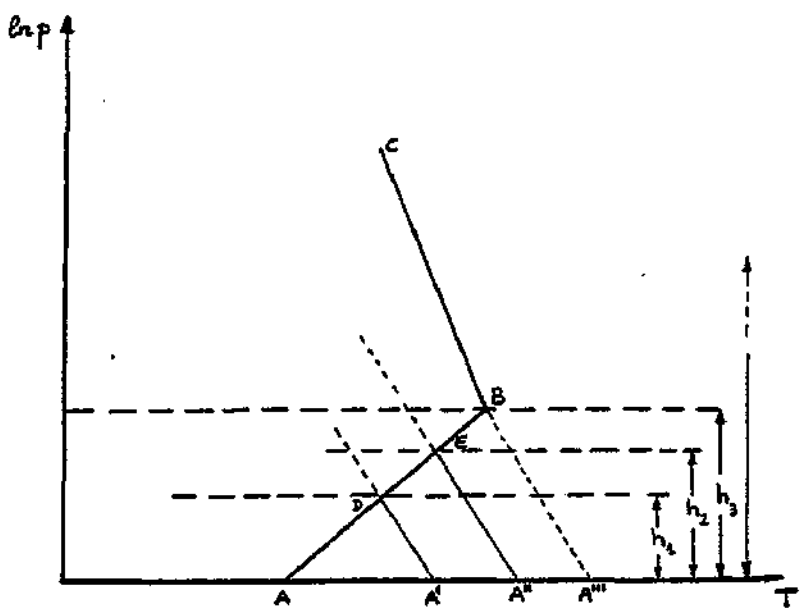


Figura. 4.2.7

- Evolución y zona o estrato de mezcla

Las inversiones de superficie se destruyen generalmente en virtud de un mecanismo contrario al de su formación: a partir de la salida del Sol comienza a calentarse el suelo, y la radiación térmica de éste va concentrando las capas inferiores de la atmósfera, lo que da lugar a que si el calentamiento del suelo se mantiene (por estar el cielo despejado) la parte inferior de la curva de estado vaya evolucionando hasta ser DA', EA'' e incluso llegar a ser BA'' en cuyo caso decimos que se ha roto la inversión, lo que suele ocurrir hacia el mediodía.

En consecuencia, la capa o estrato de mezcla que era de espesor nulo de madrugada, va aumentando a medida que va despegándose la inversión del suelo y pasa a ser h_1, h_2 y, finalmente, caso en que la curva de estado sea BA", la altura de la capa de mezcla se extiende a la de la llamada planetaria superficial (700-1000 m), caso de que no exista otra inversión térmica superior que bloquee los desplazamientos verticales. Estas inversiones térmicas superiores pueden consistir simplemente en restos de la inversión junto al suelo que por falta de calentamiento suficiente no ha sido rota totalmente, como sería el caso de la curva del estado A"EBC (Figura 4.2.7.), o tratarse de inversiones de otro tipo, denominadas de subsidencia, que son de naturaleza dinámica y de las que nos ocuparemos al hablar de los anticiclones y de la subsidencia del aire que en ellos tiene lugar.

Determinación práctica de la curva de estado de la atmósfera

Con vista a los estudios de contaminación atmosférica, interesa conocer la curva de estado dentro de la capa planetaria superficial que, todo lo más, se extiende hasta los 800-1000 m. Con frecuencia interesa especialmente la curva de estado, en los 100 ó 300 m. junto al suelo y de ahí la utilización de torres meteorológicas que facilitan datos (temperatura, humedad y viento) a diversas alturas.

Más recomendable, por lo menos por la gran versatilidad, es el uso de globos cautivos que en menos de quince minutos, permiten efectuar sondeos de temperatura, humedad y viento (velocidad y dirección), con gran detalle, hasta los 800-1000 m.

Menos recomendable parece el uso de globos libres, entre otras cosas porque el radiosonda no es recuperable, y aunque con ellos se alcanzan cotas más elevadas (10-12 Km.), la información correspondiente a la capa planetaria superficial, y en especial la anchura de la capa de mezcla, es menos precisa, con vistas a estudios relativos a contaminación atmosférica. En la Figura 4.2.8. damos, a título de ejemplo, la curva de dos sondeos simultáneos uno con globo cautivo, en Madrid, y otro, con globo libre, en Barajas.

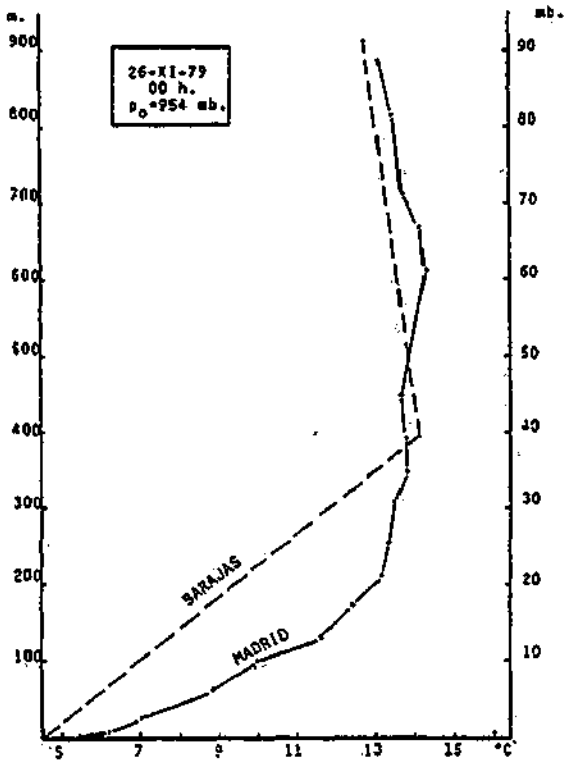


Figura. 4.2.8

2.3. METEOROLOGIA

Los elementos del tiempo

La Meteorología es la ciencia del "tiempo" y éste viene determinado por ciertas propiedades u observables en la atmósfera, sujetos a constantes cambios pero cuyos estados, en cualquier instante, determinan lo que conocemos con el nombre de tiempo. Tales variables son:

1.- Temperatura, 2.- Humedad, 3.- Visibilidad horizontal (niebla, neblina, calima, etc.), 4.- Nubes, cantidad y tipo, 5.- Precipitación, forma y cuantía, 6.- Presión atmosférica y 7.- Vientos, dirección y velocidad.

Aunque pueden agregarse otras propiedades a dicha lista, las siete mencionadas, constituyen los elementos básicos del tiempo y a ellos se refieren siempre las informaciones o partes meteorológicos. Entre ellos, dos son de particular importancia, con vistas a previsiones a corto plazo: la nubosidad, que se expresa en octavos de cielo cubierto y la dirección del viento. Los siete elementos no deben considerarse como hechos o datos independientes, ya que por el contrario están estrechamente correlacionados entre sí. En realidad, la temperatura es el elemento básico y fundamental porque en el fondo son sus variaciones las que determinan los cambios de los restantes, de los que resulta precisamente lo que denominamos "tiempo". Por ejemplo las variaciones de temperatura del aire, determinan las de humedad y éstas a su vez conducen a la formación de nubes, nieblas y a la precipitación; asimismo los contrastes de temperatura son los causantes de las diferencias de presión y éstos, a su vez, son causa de los vientos o desplazamientos horizontales del aire. Por otra parte, este elemento básico que es la temperatura, viene determinado por la radiación procedente del Sol, así como de la propia naturaleza del suelo, es decir, de la radiación solar y de la terrestre de las que pasamos a ocuparnos.

La Radiación solar o corta y la terrestre o larga

- La radiación solar

La causa de todos los fenómenos meteorológicos reside en la energía que en forma de radiación la superficie terrestre recibe del Sol; esta energía es de 2 cal. en la parte superior de la atmósfera; de ella el 35% es devuelta al espacio, en virtud del poder reflector o albedo de la superficie terrestre y su atmósfera, el 17% es absorbida por los gases de la troposfera, especialmente por el vapor de agua y polvo, y el resto, el 48%, es absorbida por el suelo determinando lo que denominamos insolación y que produce su calentamiento. Hay que destacar que la atmósfera es prácticamente transparente para la radiación solar, y lo sería más de no existir nubes pues a éstas corresponde la mayor parte del 17% mencionado (alrededor del 15% se debe al vapor de agua y gotitas nubosas). La radiación solar corresponde a la de un cuerpo negro a unos 6700°K; tiene lugar entre las longitudes de onde ultravioleta, visible e infrarrojo próximo (0.2 a 1 mm).

- Radiación terrestre

Por una parte la superficie terrestre, como cualquier cuerpo que no se encuentra a 0°K, emite radia-

ción aunque en virtud de su temperatura media (alrededor de los 275ºK) lo hace en radiación de onda larga, es decir con longitudes de onda comprendidas entre 1 mm y 20 mm. La radiación larga o terrestre no solapa pues con la solar y, además, a diferencia de lo que ocurría con la corta, la larga es muy absorbida por los gases atmosféricos, especialmente debido a las fuertes bandas de absorción del vapor de agua, entre 3 y 9 y del CO_2 a partir de las 13 . De hecho la atmósfera es alrededor del 95% opaca para la radiación terrestre o larga.

En consecuencia se produce en la atmósfera el conocido fenómeno denominado "efecto invernadero", en virtud del cual buena parte de la energía procedente del sol, en forma de radiación corta, queda atrapada en la atmósfera en forma de calor o radiación de longitud de onda larga (calor).

- Balance térmico medio por latitudes en la troposfera

La tierra en conjunto se supone que está en equilibrio radiactivo con el espacio interestelar, lo que significa que la cantidad de energía que recibe es prácticamente igual a la que, procedente de la superficie terrestre y atmósfera, escapa al espacio. Ahora bien, esto no quiere decir que la cantidad de energía que se recibe en un determinado lugar del globo terráqueo, sea también igual a la que localmente es emitida por dicho lugar.

Por ejemplo, en el Ecuador el Sol a mediodía está muy alto de modo que la insolación excede con mucho a la radiación terrestre emitida; lo contrario ocurre hacia las regiones polares. Este es también el resultado de cálculos numéricos debidos a London y que esquemáticamente representados en la Figura 4.2.9., en la que se indica el balance térmico local para cinturones latitudinales, sobre una superficie terrestre homogénea, ya que el irregular reparto de tierra y mares, así como la distinta naturaleza de los suelos, no han sido tenidos en cuenta.

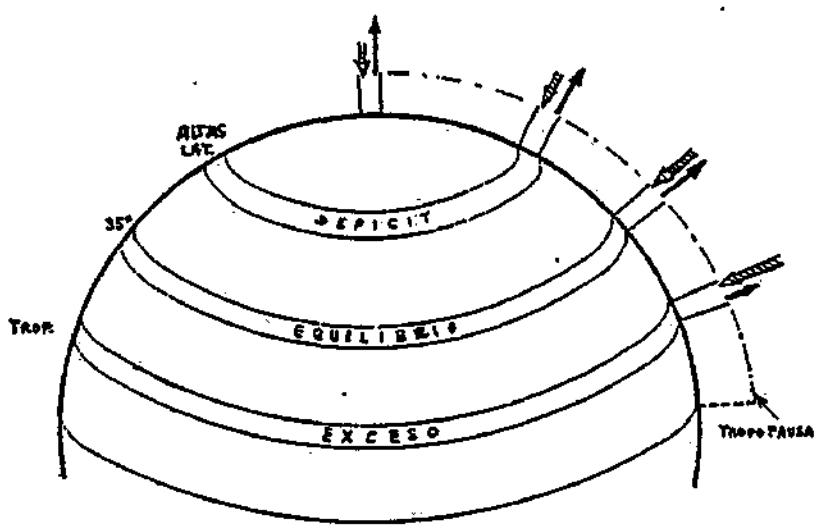


Figura 4.2.9

El exceso de energía que se acumula a bajas latitudes y el déficit que tiene lugar hacia los polos, pone en marcha a la máquina térmica atmosférica que en el proceso de transferir energía desde bajas a altas

latitudes, da lugar a todos los fenómenos meteorológicos. Esta transferencia tiene lugar mediante corrientes marinas (la del Golfo es bien conocida) o aéreas, es decir los vientos que por tanto son mera consecuencia del desigual calentamiento mencionado.

Estructura de vientos planetarios: circulación zonal y meridional

- Cinturones de presión

La primera consecuencia de la irregular distribución de energía según las latitudes es que sobre la superficie terrestre la distribución media de presión presenta las notables peculiaridades que se indican en la Figura 4.2.10.: un cinturón de bajas presiones ecuatoriales, otro de altas presiones a latitudes medias, un segundo cinturón de bajas subpolares y altas presiones con aire muy frío y denso sobre los polos.

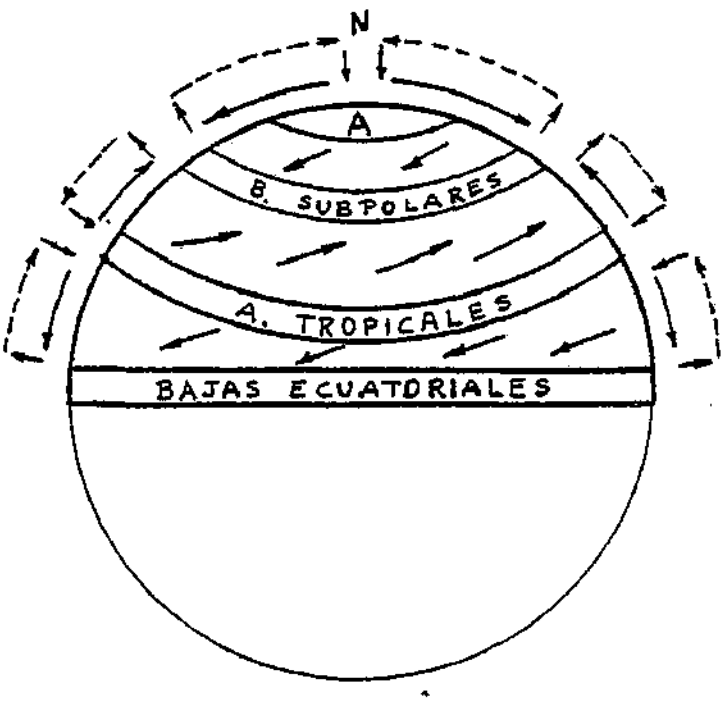


Figura 4.2.10

Naturalmente este es un esquema de presiones medias ideal que en virtud de la heterogeneidad de la superficie terrestre puede sufrir modificaciones notables; hay que considerar pues que tales cinturones de presión corresponden a condiciones ideales medias.

- Sistema de vientos planetarios

A partir de la existencia de los mencionados cinturones de presión, se establecerá un sistema de vientos planetarios soplando, como es lógico, desde las altas a las bajas presiones y con la consiguiente desviación hacia la derecha, debido a la fuerza de Coriolis (que actúa hacia la izquierda en el hemisferio Sur); estos vientos, prácticamente zonales que salvo junto al suelo, soplan a lo largo de los paralelos, vienen indicados por las flechas en la Figura 4.2.9. Naturalmente, tales vientos, como los propios cin-

turones de presión que los determinan, corresponden a un esquema medio ideal de vientos, sujetos a todas las alteraciones que los contrastes tierra-mar, por ejemplo, pueden determinar.

Dicho sistema de vientos ideales o promedios está constituído por:

a) Los alisios que soplan desde latitudes medias hacia el Ecuador y que se denominan también Levantes tropicales por la dirección de procedencia.

b) Los Ponientes que prevalecen por las latitudes medias, en las que por esta razón suele decirse que el "tiempo" viene del Oeste, y

c) Los "Levantes" polares.

Es importante advertir que estos sistemas de vientos zonales están simétricamente dispuestos, respecto al Ecuador, y que el área de las zonas latitudinales va disminuyendo desde un valor máximo, en la región ecuatorial, hasta la polar; en consecuencia el sistema de Alisios es con gran diferencia el que cubre mayor extensión de la superficie terrestre, soplando además normalmente con gran regularidad e intensidad.

- El modelo tricelular

Si la tierra estuviera en reposo, el aire caliente se elevaría por convección en el Ecuador y el aire frío polar fluiría sobre la superficie terrestre a lo largo de los meridianos hacia latitudes decrecientes; pero en virtud de la rotación terrestre y de la desviación de Coriolis que produce, ni el aire caliente ecuatorial puede llegar a los polos, por arriba, ni el frío al Ecuador; lo que ocurre es que se establece una circulación tricelular, indicada por líneas de trazos en la Figura 4.2.10., alrededor de la sección terrestre, que viene a cerrar por arriba, en la troposfera superior, la circulación inferior caracterizada por el esquema de vientos planetarios. Este modelo, aún sin ser totalmente correcto, parece útil porque a fin de cuentas viene a dividirnos a la atmósfera en ciclos de circulación, más o menos cerrados, lo que a efectos del transporte y difusión de contaminantes puede tener interés.

- Circulación meridional: ondas de Rossby; remolinos ciclónicos y anticiclónicos

Los vientos planetarios constituyen como hemos visto una circulación zonal y por tanto no contribuyen a la redistribución de energía por latitudes, impuesta por el desigual calentamiento que se esquematizó en la Figura 4.2.8.; para ello es preciso que exista una circulación meridional que transporte calor de bajas a altas latitudes y frío en sentido opuesto.

Para comprender como surge esta circulación meridional, sin recurrir a complicadas ecuaciones de aerodinámica, bastará considerar lo que ocurre en la experiencia de Fultz quien ideó un modelo bidimensional de la atmósfera con un recipiente circular plano, calentado por el borde (para simular el Ecuador) y enfriado por el centro (polos); el recipiente contiene un líquido viscoso, sobre el que se depositaban partículas coloreadas testigos del movimiento del líquido; se imprime un giro al recipiente y tan pronto como el gradiente térmico y la velocidad de giro guardan entre sí una determinada relación, surgen en la superficie líquida, en virtud de la inestabilidad hidrodinámica, una serie de ondulaciones superpuestas al movimiento circular zonal. Pues bien algo análogo ocurre con el flujo medio zonal o latitudi-

nal en la atmósfera, donde también la inestabilidad aerodinámica da lugar a que si se inicia una pequeña deformación en dicho flujo, fase a) en la Figura 4.2.11., y se produce una ondulación cuasisinusoidal, fase b), que sigue acentuándose, c), hasta que finalmente, en la fase d), vemos claramente como tiene lugar una penetración fría meridional, hacia bajas latitudes y otra cálida hacia las altas; asimismo queda como resultado de la 1ª, una circulación fría cerrada, o remolino con giro antihorario, denominado borrasca o ciclón, y otra cálida, con giro horario o anticiclón; ambas, superpuestas al flujo general zonal, se desplazan de Oeste a Levante, en nuestras latitudes afectadas por los Ponientes, pero su energía va disipándose por rozamiento y la circulación vuelve a tomar el aspecto zonal, en espera de que se inicie una nueva perturbación ondulatoria u onda de Rossby; estas ondas son las que justifican la variabilidad de los vientos al paso de los mismos por un lugar: es decir por la transitoria superposición del flujo meridional al zonal promedio normal.

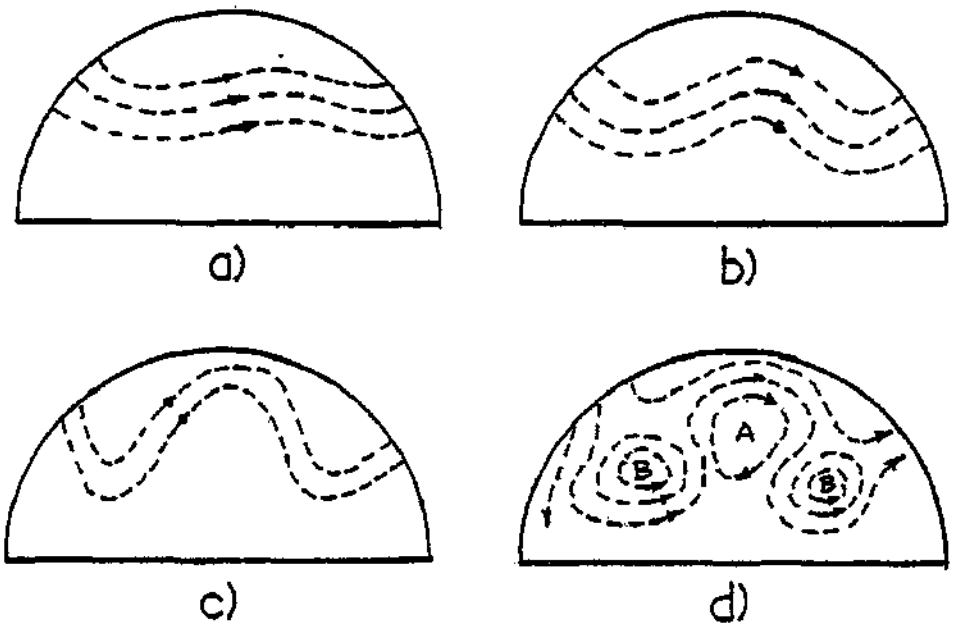


Figura 4.2.11

Campo bárico y vientos: aproximación geostrófica; Anticiclones y Borrascas

- Campo bárico superficial: isobaras

La distribución horizontal de presión, o campo bárico, es fundamentalmente la que determina los vientos; para el análisis de lo que ocurre en superficie se trazan las líneas isobaras o de igual presión y de ellas se deduce el gradiente de presión que es la variación por unidad de distancia, medida en la dirección de máxima variación; las isobaras suelen encerrar extensas áreas de altas presiones y otras de bajas menos extensas en general.

- Vientos e isobaras

El desplazamiento del aire tiene lugar desde las altas presiones o fuentes, hacia las bajas o sumideros, pero tan pronto se inicia el movimiento el aire se encuentra sometido, por efecto del giro terrestre, a la fuerza de Coriolis, perpendicular a la velocidad que le desvía hacia la derecha en el hemisferio Norte (a la izquierda en el Sur); esta fuerza vale por unidad de volumen: $F_c = 2\rho V \Omega \operatorname{sen}\varphi$ (donde ρ es la densidad del aire, V su velocidad, Ω la velocidad angular de la tierra y φ la latitud del lugar); suele es-

cribirse así: $F = f \cdot \rho \cdot V$, donde $f = 2\,\Omega \operatorname{sen} \varphi$ depende solo de la latitud.

En consecuencia, de no existir rozamiento se establece el equilibrio geostrófico entre el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis (Figura 4.2.12.) lo que da lugar a la aparente anomalía de que el viento, en lugar de "entrar" hacia las bajas, sopla a lo largo de las isobaras, en sentido horario alrededor de las altas y antihorario alrededor de las bajas (ocurre lo contrario en el hemisferio Sur).

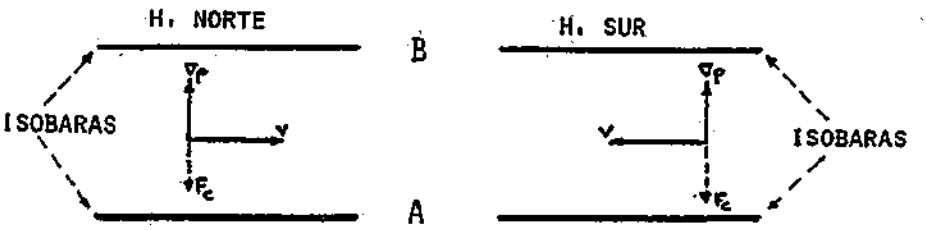


Figura. 4.2.12

- Efecto del rozamiento: convergencia y divergencia

Pero como en las capas bajas existe una fuerza de rozamiento, debida a la rugosidad del suelo, las cosas ocurren realmente, en la capa planetaria superficial de la forma que se indica en la Figura 4.2.13., donde $f_{roz.}$ es la fuerza de rozamiento que junto con la de Coriolis equilibran el gradiente de presión. En consecuencia, en las capas bajas el viento en su giro resulta ser "entrante" hacia las zonas de "baja" y "saliente" en cambio de las de "alta" presión; esto determina la "convergencia" horizontal clásica en las borrascas y la "divergencia" de los anticiclones, que se observa en las capas bajas de la atmósfera. El ángulo que la dirección del viento forma con las isobaras va disminuyendo desde unos 45º, junto al suelo, hasta anularse, en virtud de un progresivo giro horario, para coincidir con la dirección de las isobaras en la cima de la capa planetaria superficial (500-1000 m.).

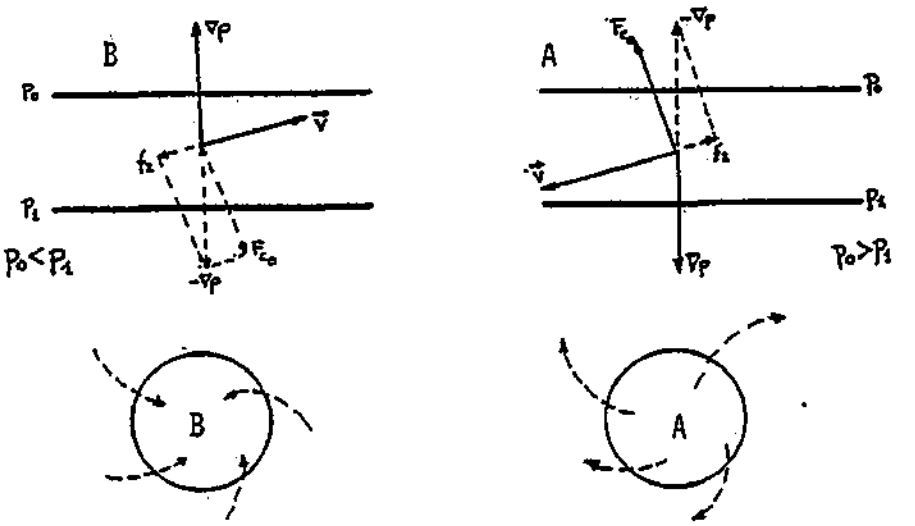


Figura 4.2.13

- Aproximación geostrófica

Cuando deja de apreciarse la influencia del suelo y, por tanto, se anula la fuerza de rozamiento, lo que como ya sabemos ocurre en la cima de la capa planetaria superficial (de 500 a 1000 m.), la Figura 4.2.12. que establece el equilibrio entre el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis, permite hallar el valor de V que se denomina velocidad geostrófica: $V_g = \frac{1}{f \cdot \rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial n}$. Esta ecuación es muy importante porque da una estimación aproximada de la velocidad del viento, cuando no se dispone de observaciones sobre el mapa sinóptico y sus isobaras. Además la última ecuación, teniendo en cuenta la ecuación hidrostática, puede ponerse en esta forma: $V_g = \frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial n}$ que puede ser utilizada en los mapas de topografía, de contorno o isohipsas, con mayor propiedad que la anterior pues no hay que tener en cuenta la variabilidad de la densidad del aire ; para ello se recurre a ábacos basados en la latitud del lugar y espaciado de las isohipsas.

- Los grandes sistemas de presión

Están constituídos por las zonas de altas o anticiclones (A) y las de baja o borrascas (B); en la Figura 4.2.13. se dió un esquema de cómo es la circulación del aire alrededor de ambas y en consecuencia se suele decir que las primeras son zonas donde predomina la divergencia horizontal y en las segundas la convergencia. Pero cuando se consideran tales estructuras en toda su extensión vertical, y no solo lo que ocurre junto o cerca del suelo, las cosas no son tan sencillas y su propia dinámica interna resulta jugar un papel muy importante en el transporte y dispersión de la contaminación.

- Modelos de Sutcliffe

La imagen real de un anticición y de una borrasca en desarrollo viene dada por el modelo de Sutcliffe, Figura 4.2.14., y que pone de manifiesto que en un anticición en desarrollo penetra más aire por arriba

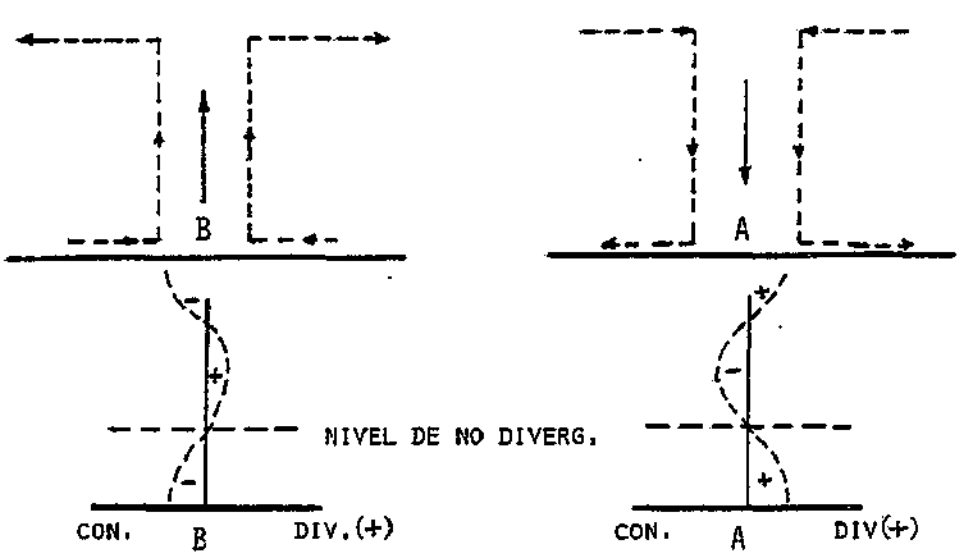


Figura 4.2.14

del que diverge por abajo, mientras que en una borrasca, por el contrario, a la convergencia inferior corresponde una divergencia superior más notable; en otras palabras una borrasca, por ejemplo, no es una simple chimenea sino que por arriba el flujo emergente es mayor que el que penetró por abajo: a la convergencia horizontal inferior, tras una zona de no divergencia, sucede una zona con notable divergencia. Lo contrario ocurre en los anticiclones.

- Tiempo asociado a anticiclones y borrascas y efectos sobre la contaminación

El movimiento vertical ascendente, en la troposfera, asociado a la de borrasca, produce enfriamiento adiabático y por tanto condensación, nubes y precipitaciones, constituyendo el mal tiempo clásico que acompaña a las borrascas. Por contra, el movimiento vertical descendente, o subsidencia que en la troposfera va asociado al anticiclón, produce calentamiento y por tanto desecación del aire, con cielos despejados por arriba, es decir tiempo excelente y seco, exceptuando quizá los niveles inferiores, en invierno, donde pueden formarse nieblas o capas de estratos, bajo el nivel de una posible inversión térmica de subsidencia, en altura, originada por el calentamiento adiabático del aire descendente en el mencionado proceso de subsidencia; véase por ejemplo en la Figura 4.2.15., como suele alterarse la curva de estado por la subsidencia de la masa de aire (M_1) que desciende, calentándose y extendiéndose horizontalmente (M_2); BC es la inversión de subsidencia.

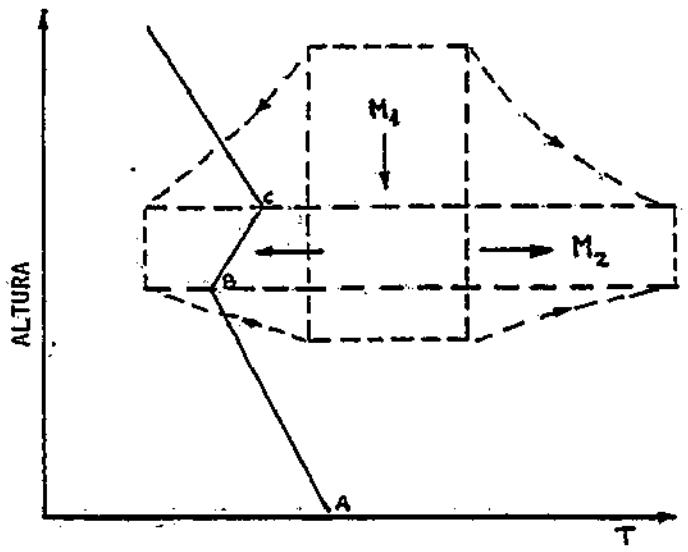


Figura. 4.2.15

Por otra parte, bajo la acción de una zona de bajas presiones o borrasca, la corriente ascendente central (Figura 4.2.14.), eliminará por arriba los productos que la convergencia horizontal inferior introdujo por abajo, y con ello facilitará en gran manera la dispersión de la contaminación; por contra, una zona anticiclónica, tanto por su corriente descendente, como por la posible formación de la inversión de subsidencia, es siempre peligrosa por el riesgo de que la contaminación, no eliminada, alcance concentraciones elevadas. De hecho los más graves episodios registrados se dan en plenas condiciones anticiclónicas, cuando además de la inversión térmica junto al suelo, hay en altura otra de subsidencia.

La capa planetaria superficial

Toda la meteorología que influye directamente en el problema de la dispersión de la contaminación, corresponde a dicha capa, pues en ella se dan por ejemplo los fenómenos de turbulencia de los que en definitiva depende la capacidad difusora de la atmósfera. Vamos a resumir algunos aspectos importantes:

- Variación de la intensidad del viento con la altura

Ya hemos visto que por efecto del rozamiento con la superficie terrestre, la intensidad del viento crece con la altura, a medida que la fuerza de rozamiento (Figura 4.2.13.) va disminuyendo, pero la variación no es lineal y el "perfil del viento" es de tipo logarítmico, pues la velocidad puede expresarse en función de la altura por:

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \qquad \text{(Ley logarítmica viento).}$$

donde u_* es la velocidad de fricción, ligada a la cizalla del viento y densidad del aire ($u_*^2 = \tau/\rho$), y vale aproximadamente la décima parte de la velocidad $\bar{u}$, medida a 2 metros del suelo; k es la constante, sin dimensiones, de Karman (k = 0.40); z_0 el parámetro de rugosidad del terreno; tanto u_* como z_0 pueden obtenerse por extrapolación a partir de la gráfica experimental que resulta al representar la ley logarítmica:

$$\ln z = \frac{k}{u_*} \bar{u} + \ln z_0$$

La rugosidad varía desde algunas décimas de mm. para terrenos muy lisos, hasta varias centenas de cms. para los que presentan grandes irregularidades.

Existe también una fórmula empírica, de uso corriente, para representar el perfil de viento con la altura, que se conoce con el nombre de ley potencial:

$$\bar{u} = \bar{u}_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^n \quad ; \quad 0 < n < 1$$

donde n depende del grado de estabilidad, siendo igual a 1/10 para fuerte inestabilidad, a 0.14 para neutralidad y a 0.8 para una notable estabilidad.

En general, el perfil del viento con la altura es del tipo que se indica en la Figura 4.2.16.; obsérvese que la variación de $\bar{u}$ con z depende fundamentalmente del factor de rugosidad.

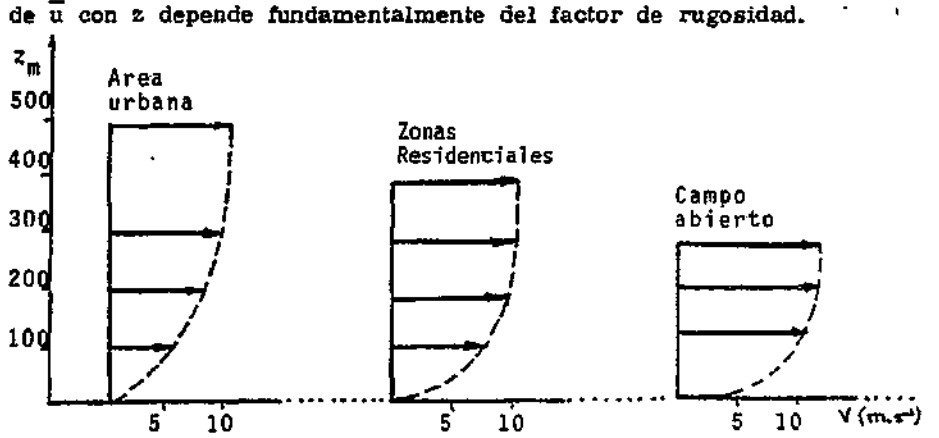


Figura. 4.2.16

- Cizalla y turbulencia

La cizalla, o esfuerzo cortante del viento que se debe a z_0 y es proporcional a $\frac{d\bar{u}}{dz}$, da lugar a la formación de remolinos, de modo que el régimen del viento, en virtud de la rugosidad, no es laminar sino turbulento; entre las diversas capas tiene lugar un intercambio de cantidad de movimiento, con transporte de dicha magnitud, de arriba a abajo, y tanto más intenso cuanto mayor sea la citada derivada o sea la cizalla. Naturalmente, también otras magnitudes, por ejemplo las concentraciones de un contaminante, serán transportadas por dichos remolinos o turbulencias que actúan como agente de dispersión.

- Los dos tipos de turbulencia: Nº de Richardson

Además de la turbulencia mecánica, originada por la irregularidad del terreno que determina una convección forzada, también pueden producirse remolinos de origen térmico por el desigual calentamiento de la superficie terrestre en virtud de la insolación o convección libre; esta segunda turbulencia térmica da lugar a remolinos mayores y contribuye en gran manera a la difusión y mezcla, e incluso hace que la curva de perfil del viento sea más achatada.

Conjuntamente, ambas turbulencias determinan que el flujo del aire, tenga que ser descrito por un valor medio más una perturbación de carácter aleatorio, pues esta es la característica primordial de los remolinos:

$$\vec{v} = \langle \vec{v} \rangle + \vec{v}'$$

Dado que el viento es un flujo de aire más o menos turbulento, hemos venido hablando siempre de valores medios (por ejemplo $\bar{u}$).

Por lo general ambas turbulencias actúan a la vez, pero cabe distinguir, en los registros del viento la preponderancia de una o de otra: En el registro de "dirección" del viento, cuando la turbulencia sea predominantemente mecánica, en cada instante la dirección oscilará alrededor de un valor medio, fácilmente definible, pues las variaciones angulares rara vez son superiores a los $\pm 10^o$; en cambio si la turbulencia es térmica, sus remolinos, mucho más notables, pueden dar lugar a variaciones superiores a los $\pm 90^o$, de forma que, a veces, resulta incluso difícil hablar de dirección media o dominante.

En aire inestable, la convección forzada o turbulencia mecánica viene reforzada por las fuerzas de empuje aerostático, mientras que en el seno del aire estable, dicha turbulencia resulta entorpecida; existen parámetros que dependen de la relación entre la producción de energía, bajo el efecto de dicho empuje y el consumo de energía por turbulencia mecánica, mediante las cuales pueden expresarse la estructura de la capa superficial y la importancia de las transferencias turbulentas.

El más clásico es el nº de Richardson que viene a ser una medida de la estabilidad en la correspondiente zona del flujo dentro de la capa superficial:

$$R_i = \frac{g}{\bar{\theta}} \frac{\partial\bar{\theta}/\partial z}{(\partial\bar{u}/\partial z)^2} \simeq 0.035 \frac{\Delta T \cdot \Delta z}{(\Delta\bar{u})^2}$$

Naturalmente, R_i es negativo, para el caso de que exista inestabilidad ($\partial\theta/\partial z<0$), mientras es positivo en una inversión ($\partial\theta/\partial z>0$); de hecho varía alrededor de 0 entre $\pm$ 0.2. El intercambio turbulento queda fuertemente restringido por valores de $R_i > 0$, mientras que por el contrario para valores netamente negativos de R_i la convección libre sustituye a la forzada como mecanismo dominante en la mezcla o transferencia; en otras palabras, valores negativos de R_i implican fuerte turbulencia y la consiguiente homogeneización de la capa superficial; incluso valores muy pequeños en valor absoluto, pero negativos, bastan para amplificar significativamente la turbulencia mecánica existente. De ahí que la capacidad difusora de la atmósfera esté estrechamente relacionada con los índices de estabilidad, entre ellos el nº de Richardson; como para conocer éste precisa información de vientos y temperatura a diversas alturas de ahí la utilización de torres meteorológicas (de 30 a 100 m.) que son capaces de registrar tal información e incluso de procesarla mediante el correspondiente ordenador; también se usan con el mismo fin los sondeos con globo cautivo.

Digamos finalmente que la componente $\vec{V}'$ o perturbación del viento medio $\langle \vec{V} \rangle$, que caracteriza a la turbulencia, y que podemos llamar viento cruzado, tiene las componentes $(u'; v'; w')$ y la intensidad de la turbulencia suele medirse por:

$$g_x = \left(\frac{\overline{u'^2}}{\overline{u}^2}\right)^{1/2} \quad ; \quad g_y = \left(\frac{\overline{v'^2}}{\overline{u}^2}\right)^{1/2} \quad ; \quad g_z = \left(\frac{\overline{w'^2}}{\overline{u}^2}\right)^{1/2}$$

donde $\langle V \rangle$ $(\bar{u}, \bar{v}, \bar{w})$ y las "g" son las denominadas rafagosidades, que son una medida del grado de turbulencia.

- Estimación práctica de la categoría de estabilidad: criterio de Pasquill-Turner

Huyendo del sin fin de posibilidades a que la determinación de un parámetro de estabilidad puede dar lugar, en la práctica se recurre, siguiendo las ideas de Pasquill, a valorar el grado de inestabilidad decreciente en siete categorías: A, B, C. D, E, F y G; las dos primeras corresponden a fuerte inestabilidad (casi exclusivamente de carácter térmico, especialmente la A); las C y D son de débil inestabilidad y neutralidad y las E, F y G son de estabilidad creciente, correspondiendo la última a una fuerte inversión térmica. De acuerdo con las normas vigentes tales categorías se definen en función del valor de σ_φ valor standard de la fluctuación angular horizontal del viento y del gradiente térmico vertical α, de la siguiente forma:

CATEGORIA	σ_φ	α °C/Hm	DESCRIPCION
A	> 22º5	< -1.9	Fuerte Inestabilidad
B	17º5 - 22º5	-1.9 a -1.7	Moderada Inestabilidad
C	12º5 - 17º5	-1.7 a -1.5	Ligera Inestabilidad
D	7º5 - 12º5	-1.5 a -0.5	Neutralidad
E	3º75 - 7º5	-0.5 a 1.5	Ligera Estabilidad
F	2º1 - 3º75	1.5 a 4	Fuerte Estabilidad
G	< 2º1	> 4	Inversión

En ausencia de registro de viento que permita determinar σ_φ, y de torre meteorológica, o sondeo, para conocer α, cabe recurrir a simples observaciones meteorológicas: radiación solar (expresándola en función de la nubosidad y época del año) e intensidad del viento, según se indica en la siguiente tabla,

cuya relación con la anterior es fácilmente comprensible:

Intensidad Viento (m/s)	INSOLACIÓN DIURNA			NOCHE	
	Fuerte	Moderada	Débil	Nubosidad ≥ 4/8	≤ 3/8
< 2	A	A - B	B		
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Como se observará cabe definir categorías intermedias, por ejemplo A-B. Una vez escogida la categoría correspondiente, con valor a mesoescala, gráficas o tablas adecuadas nos darán los parámetros de difusión adecuados a tal categoría. En la Tabla que damos en la Figura 4.2.17. puede efectuarse dicha clasificación, con mayor detalle, pues la influencia de la radiación solar es tenida en cuenta para las diversas alturas del Sol.

Velocidad del viento (km/h)	Indice de Radiación Neta						
	4	3	2	1	0	-1	-2
0 - 2,8	1	1	2	3	4	6	7
2,8 - 6,5	1	2	2	3	4	6	7
6,5 - 10,2	1	2	3	4	4	5	6
10,2 - 11,9	2	2	3	4	4	5	6
11,9 - 13,9	2	2	3	4	4	4	5
13,9 - 17,6	2	3	3	4	4	4	5
17,6 - 19,4	3	3	4	4	4	4	5
19,4 - 22,2	3	3	4	4	4	4	4
≥ 22,2	3	4	4	4	4	4	4

(1-A; 2-B; 3-C; 4-D; 5-E; 6-F; 7-G)

	Altitud solar a	NUBOSIDAD Cantidad	NUBOSIDAD tipo de nubes	Indice de radiación neto
Tanto DIA como NOCHE	-	8/8	Bajas	0
Durante EL DIA	a ≤ 15º	--	--	1
	15º < a ≤ 35º	≤ 4/8	--	2
		> 4/8	--	1
	35º < a ≤ 60º	≤ 4/8	--	3
		> 4/8	Bajas	1
			Medias	2
		8/8	Medias o Altas	2
	a > 60º	≤ 4/8	--	4
		> 4/8	Bajas	2
			Medias	3
		8/8	Medias o Altas	3
Durante LA NOCHE	--	≤ 3/8	--	-2
	--	> 3/8	--	-1

Figura. 4.2.17

2.4. FACTORES METEOROLOGICOS MAS IMPORTANTES EN EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

Todos y cada uno de los factores meteorológicos, así como los elementos del tiempo (apartado 2.3.), constituyen simples indicios de la capacidad difusora de la atmósfera, sin que ninguno por separado permita definir adecuadamente tal capacidad; ni tan siquiera basta el conjunto de todos ellos si no se consideran más que los datos de una sola estación, y sin embargo tampoco ninguno de ellos es totalmente ajeno al proceso difusor.

Citemos un claro ejemplo para ilustrarlo: Si establecemos una correlación entre la contaminación del aire, en una ciudad y la presión atmosférica registrada en el observatorio más próximo, obtendremos un coeficiente de correlación positivo muy significativo, de lo que, a primera vista, deduciremos que las altas presiones van asociadas a altos niveles de contaminación; pero en realidad lo que ocurre es que una presión elevada corresponde a una zona anticiclónica, en la que se da una cadena causal de sucesos todos ellos entorpecedores de la dispersión:

SITUACION ANTICICLONICA

1) DESCENSO GENERAL DE LA ATMOSFERA → - CONFINAMIENTO VERTICAL; - DISMINUCION TURBULENCIA

2) INVERSION, SUBSIDENCIA Y POSIBLE INVERSION JUNTO SUELO → - AUSENCIA VENTILACION VERTICAL

3) VIENTOS DEBILES Y DIVERGENTES → - POCA VENTILACION HORIZONTAL E INHIBICION DE LA VERTICAL

Un esquema análogo puede trazarse en el caso de bajas presiones o borrascas, en el que toda la cadena de procesos resulta favorable a la dispersión.

Las variables meteorológicas de observación directa no pasan de ser síntomas de una situación atmosférica cuya definición adecuada exige un estudio tridimensional; de ahí que huyendo de influencias individuales de cada una de las variables meteorológicas, sea preferible expresar la capacidad difusora por unas "categorías" de estabilidad que en el fondo vienen determinadas por todas ellas. Lo cual no implica que no pasemos revista al papel que tales variables, individualmente, puedan jugar.

Factores meteorológicos a escala local o mesoescala

- Principales

Evidentemente los más importantes son el viento medio y la turbulencia, aunque esta última venga ligada a la estabilidad de la estratificación, nº de Richardson o categoría de estabilidad.

Todos influyen en el factor de ventilación del que, en primera aproximación, depende la dispersión del contaminante procedente de un foco:

$$\bar{c}(x,y,z) \propto \frac{1}{\bar{u}.h.A} \cdot F(y) \cdot G(z)$$

donde $\bar{u}$ velocidad media (eje OX); h altura capa mezcla; A extensión superficial; F(y) y G(z) son funciones que dan la dispersión transversal y vertical.

- Otros factores

Evidentemente la radiación solar influye, pero su efecto viene reflejado por la categoría de estabilidad que afectará a la difusión, a través de las funciones F(y) y G(z); otro tanto podemos decir de la nubosidad que no solo afecta, alterando la cantidad de irradiación solar, sino también en los casos en que la nubosidad sea estratiforme además de impedir el calentamiento del suelo, evitando la convección forzada, es síntoma de la existencia de una inversión térmica, o techo para la difusión, a la altura del estrato. Por el contrario la presencia de cúmulos, o nubes de desarrollo vertical, implica la existencia de una activa convección y turbulencia térmica difusora.

La presencia de niebla de radiación, producida por enfriamiento del aire junto al suelo, corresponde a una seria situación de contaminación en ciudades y zonas industriales: los contaminantes son, en general, higroscópicos, lo que favorece la formación de las gotitas de niebla y dificulta su dispersión; con frecuencia las nieblas son más una consecuencia que la causa de la contaminación: basta recordar la espectacular disminución en frecuencia, intensidad y persistencia de la célebre niebla londinense con las medidas legisladas contra la contaminación.

Finalmente, la precipitación constituye un factor positivo pues elimina aerosoles y partículas que constituyen núcleos de condensación o gérmenes sobre los que se forman las gotitas nubosas; además las gotas de lluvia al caer arrastran contaminantes que enturbian la atmósfera; el efecto beneficioso de la lluvia, máxime si cae en forma de chubasco, suele prolongarse varios días, por eliminación de polvo y vigorización de la acción vegetal.

Factores meteorológicos a gran escala

Están ligados a situaciones sinópticas que afectan a grandes extensiones (de 100 a 1000 Kms.), en las que se dan determinadas características meteorológicas que, con bastante uniformidad, afectan al poder difusor de la atmósfera en general.

- Masas de aire

Por su origen y evolución las masas de aire que adquieren características uniformes sobre la zona terrestre en que permanecen largo tiempo, suelen clasificarse en: Masas del aire Polar y Masas del aire Tropical y ambas, a su vez, pueden subdividirse en marítimas (mP), mT) y continentales (cP, cT).

Cada una de ellas al ponerse en movimiento y penetrar sobre una extensión superficial distinta puede encontrarse más fría o más caliente que dicha superficie sobre la que avanza, hecho que se denota respectivamente con los subíndices K y W; así, por ejemplo si una masa de aire polar marítimo, avanza en invierno sobre un continente que normalmente estará más frío, se designará por mP_W; en cambio, en verano en que el mar está más frío, la misma se designará: mP_K.

Normalmente, como ya vimos en el apartado 3., las masas de aire frío avanzan hacia el sur y en su avance sobre suelos más calientes, van calentándose por abajo, lo cual favorece la convección térmica, y la correspondiente mezcla turbulente por inestabilización. Por el contrario, las masas de aire cálido, al avanzar sobre suelos más fríos, se enfrían por abajo y con ello se estabilizan cada vez más; en consecuencia, a igualdad de los restantes factores, los niveles de contaminación son siempre más altos en el seno de las masas que denominamos cálidas que en las frías.

- Inversiones de subsidencia

Ya vimos en qué consisten y que se presentan en la zona central de un anticiclón, donde aunque desaparezca la inversión junto al suelo, limitan, por espacio de varios días, la extensión de la capa de mezcla, con grave acumulación de la concentración de contaminantes que no pueden ser eliminados por falta de ventilación vertical.

- Convergencia y divergencia

La respuesta de la atmósfera a la acción de un contaminante depende no tan solo de la dispersión horizontal (viento) y vertical (espesor estrato de mezcla), también hay que tener en cuenta la propia tendencia a movimientos ascendentes o descendentes de las capas inferiores, ya que los primeros tenderán a alejar del suelo los productos contaminantes (Figura 4.2.14.B), mientras que los segundos producen efecto contrario (Figura 4.2.14.A).

Pues bien, aunque la Figura citada se refiere, a escala sinóptica, por ejemplo al caso de los movimientos de subsidencia asociados a un anticiclón, también a escala intermedia, o mesoescala, entre los movimientos ascendentes o descendentes, ligados por ejemplo a la convección (microescala) y los de dicha escala sinóptica, existen movimientos ascendentes que afectan a áreas de cierta extensión y de forma que las velocidades verticales en tales movimientos parecen estar en razón inversa a la raiz cuadrada del área a la que afectan. Siendo la escala meso, entre 10 y 100 veces menos que la sinóptica o macro, tales velocidades en aquella escala serán también de 10 a 100 veces superiores a las que se dan en las grandes perturbaciones atmosféricas (borrascas y anticiclones).

Las corrientes ascendentes o descendentes en tales zonas están, por lo general, motivadas y ligadas a la orografía del terreno; como los anemómetros tan solo nos dan la componente horizontal del viento, para medirlas hay que recurrir al concepto de divergencia, en el supuesto de que el aire es un fluído incomprensible:

$$\operatorname{div} \vec{V} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \qquad \vec{V} = \vec{V}(\bar{u}, \bar{v}, \bar{w})$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) = -\operatorname{div}_H \vec{V}$$

es decir, a la medida de la divergencia horizontal del viento; para ello en primera aproximación, precisan tres puntos de observación del viento, formando un triángulo y con tanto menor error cuanto más próximo sea a un triángulo equilátero (Método de Bellamy). En la Figura 4.2.18. puede verse un corte vertical de la atmósfera, con zonas alternativamente convergentes y divergentes y su efecto sobre un

penacho, arrastrado por el viento de izquierda a derecha. Evidentemente, las zonas divergentes son las menos adecuadas para instalaciones de industrias contaminadoras. En la Figura 4.2.19. damos una sección horizontal del flujo del aire, a lo largo de un valle; fácilmente se comprenderá por todo lo dicho que en A se producirá una fuerte corriente vertical ascendente (W), mientras que en B ocurrirá lo contrario; A será pues mejor emplazamiento que B para emisión de contaminantes.

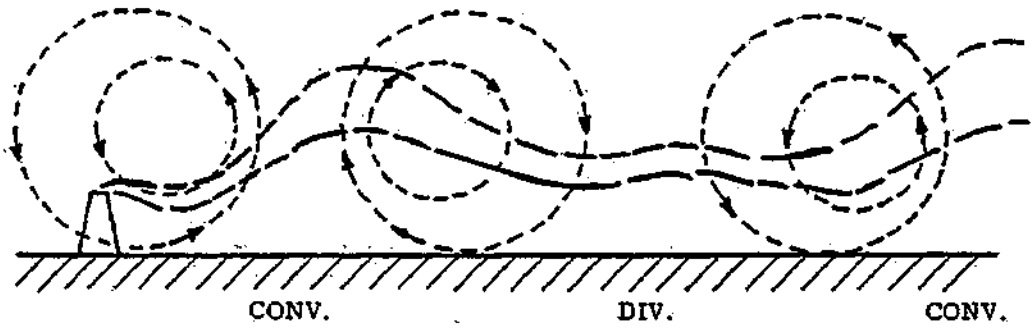


Figura 4.2.18

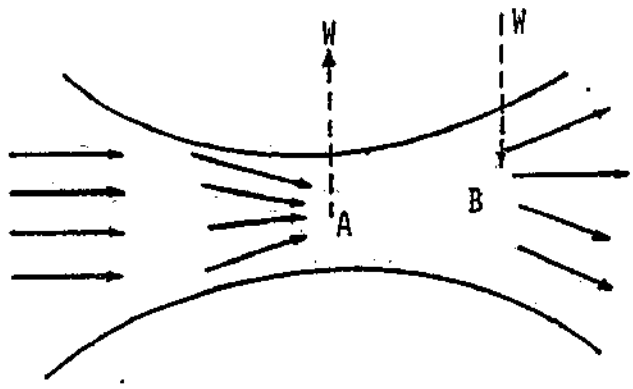


Figura 4.2.19

- Brisas, monzones y vientos locales

Finalmente no podemos dejar de mencionar el efecto de los vientos locales y entre ellos concretamente las brisas y monzones. Ambos tienen en común que se deben al distinto calentamiento de tierras y mares que para la brisas es de variación diurna, pues de día se caliente más la tierra y sopla la brisa de mar y de noche ocurre lo contrario, mientras que para los monzones es estacional ya que en verano se calienta más el continente y el monzón del verano sopla del mar hacia el interior, mientras que el monzón de invierno sopla del continente hacia el mar.

Este último da lugar, como en el caso de los anticiclones, a un descenso de la masa de aire situada sobre el continente, reforzándose, en virtud de la subsidencia, la estabilidad, aportando hacia el suelo los

los contaminantes. Análogo efecto, aunque en menor escala, produce la brisa tierra-mar que se establece por la noche: un descenso del aire sobre las tierras próximas a la costa, con el consiguiente efecto desfavorable sobre la contaminación que es llevada hacia las capas bajas.

En la Figura 4.2.20. se pone claramente de manifiesto el efecto de la brisa sobre la contaminación y la importancia que en tal caso tiene la altura de la fuente emisora.

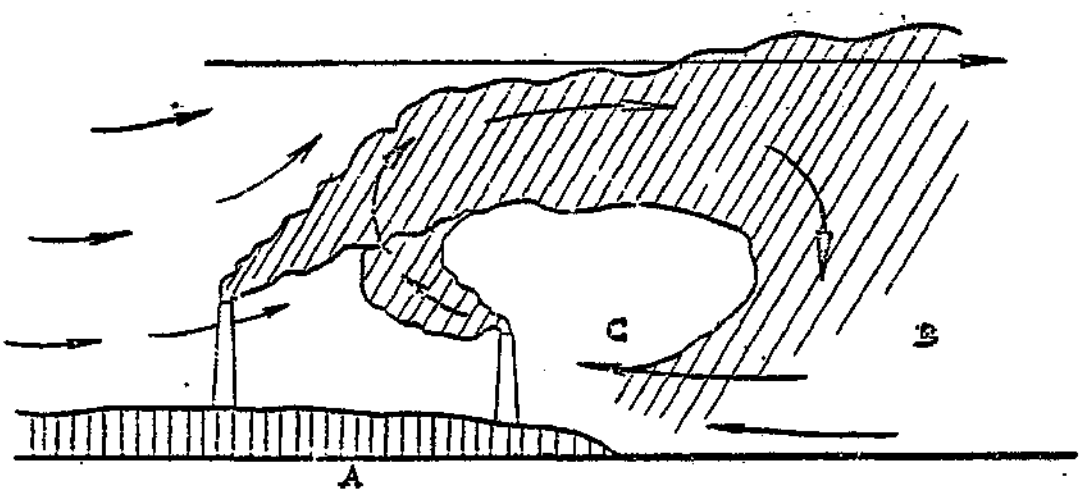


Figura. 4.2.20

2.5. CLIMATOLOGIA Y CONTAMINACION ATMOSFERICA

Introducción

En el apartado 2.1. quedó aclarada la notable diferencia entre tiempo y clima. Sin embargo cabe ahora preguntarse por que hemos de hablar de climatología, en relación a la contaminación, cuando en realidad son los parámetros que definen el tiempo los que influyen en la polución. Lo que ocurre es que si exceptuamos estudios concretos sobre determinados y específicos casos importantes, llamados episodios, la investigación en el papel que desempeña la atmósfera en el problema de la contaminación ambiental, debe ser de tipo estadístico y probabilístico, es decir climatológico; la atmósfera no es determinística, en el sentido de que nunca seremos capaces de predecir, con toda precisión, su comportamiento, tal vez porque siempre existirán en ella ciertas variables "ocultas"; esto equivale a decir que su comportamiento es probabilístico y por lo tanto no cabe esperar que vuelva de nuevo a darse exactamente la misma concatenación de condiciones que existieron en cualquiera de los pasados episodios. En consecuencia parece que lo más positivo para extraer consecuencias y deducir principios generales de episodios pasados, resulta ser su examen climatológico; por esta razón los datos referentes a tales casos resultan tan importantes, no en sí mismos, sino como muestras de una serie estadística que hay que ir mejorando y que desde luego no cabe improvisar y acelerar, lo que constituye el problema principal, generalmente mal comprendido.

Dos modelos conceptuales

El papel de la atmósfera, como transportadora y difusora de la contaminación, puede analizarse mediante dos sencillos esquemas conceptuales; según el primero la atmósfera, local o globalmente considerada, puede asimilarse a un recipiente, con un "grifo" de entrada, o fuente de penetración de contaminantes, y su "desagüe" o sumidero por el que escapan, aunque a un ritmo forzosamente limitado y variable, determinado por el flujo y reflujo de las perturbaciones sinópticas. La observación nos dice que con frecuencia esta capacidad de "desagüe" es superada localmente (por ejemplo gran disminución de la visibilidad); en este modelo todo el problema reside en la relación entre el ritmo de "carga" y el de eliminación.

El segundo modelo se basa en las relaciones existentes entre las escalas, de espacio y tiempo, en los procesos atmosféricos de eliminación, locales y regionales; en este modelo la atmósfera se considera dividida en dos capas, Figura 4.2.21.; el espesor de la inferior viene dado por la máxima anchura de la capa de mezcla, que a su vez viene determinada por la presencia o ausencia de la subsidencia o macro-

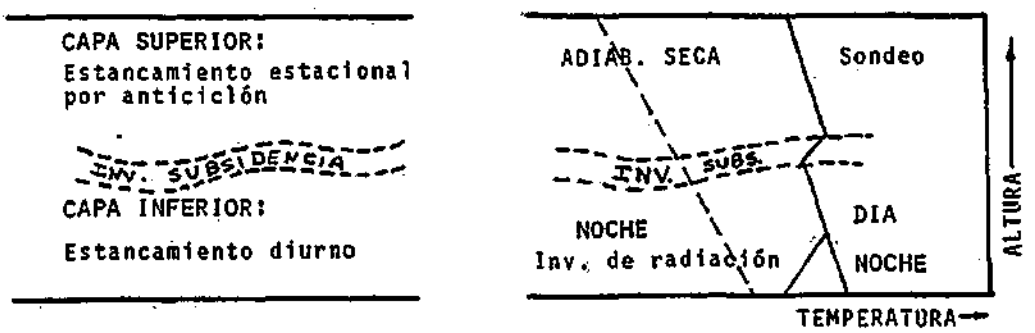


Figura 4.2.21

escala. Los trabajos climatológicos correspondientes a este modelo son del tipo de los llevados a cabo en EE.UU. por Holzworth (2) consistentes en unos mapas en los que para dos diversas estaciones del año, se dan el valor medio de la altura máxima del estrato de mezcla, así como la frecuencia de las inversiones cerca del suelo (con base a 150 m. o por debajo) expresada en tanto por ciento del número total de horas. También existen mapas con los vientos medios, por estaciones, en dicha capa de mezcla.

Las dos capas atmosféricas consideradas por el modelo pueden permanecer estancadas o en movimiento; cuando están acopladas (cosa que ocurre en ausencia de subsidencia o macroescala) a ambos les ocurre lo mismo, pero en caso de que no lo estén sus movimientos pueden o no ser idénticos. La capa inferior tiende a oscilar diariamiente entre el estancamiento matinal y la turbulencia posterior al calentamiento del suelo, a mediodía; en cambio en la capa superior las alternancias entre movimiento y estancamiento son de tipo estacional y ligados a la presencia de anticiclones semipermanentes. En consecuencia en el modelo que nos ocupa las posibilidades locales para la dispersión y dilución de contaminantes, resultan de la interacción de los procesos, generalmente, diarios que ocurren en la zona baja, con los estacionales que tienen lugar en la superior. Las condiciones menos serias se dan cuando ambas zonas están acopladas y en movimiento; las más graves cuando exista estancamiento en las dos zonas, a lo largo de varios días consecutivos en los que los procesos diurnos de la zona baja no tienen lugar (no se rompe la inversión junto al suelo).

Constancia del viento

Por lo que respecta al viento conviene advertir que su efecto viene muy influenciado por su constancia o cociente del viento vertical medio

$$\vec{V}_r = \frac{\sum \vec{V}_i}{n}$$ (n... nº observaciones)

y la intensidad media

$$V_e = \frac{\sum |V_i|}{n}$$

o sea:

$$q = \frac{\vec{V}_r}{V_e}$$

Este valor oscila entre 0 y 1, pero se suele expresar en tanto por ciento. Un valor alto de q está asociado a riesgo de concentraciones altas a sotavento de un foco contaminante, según la dirección del viento dominante. Un valor de q próximo a cero tiene significación menos precisa ya que puede ser debido bien a una gran variabilidad de la dirección del viento, factor que evidentemente favorece la difusión, o, caso menos frecuente, a la compensación entre dos sentidos antagónicos muy dominantes del viento, en cuyo caso afecta menos a la dispersión.

Es evidente que los mapas nacionales de las variaciones de q, para diversas estaciones del año, resultan de gran interés; otro tanto podemos decir de los mapas correspondientes a las zonas de convergencia y divergencia; ambas informaciones constituyen una base climatológica imprescindible para la planificación

industrial a escala regional o nacional.

El concepto de contaminación potencial

Se define como la incapacidad de la atmósfera para dispersar y diluir los contaminantes emitidos en su seno; se trata pues de una magnitud que depende exclusivamente de factores meteorológicos o climatológicos y que puede existir, e incluso alcanzar valores altos, en ausencia de contaminantes. Existe mapas que sugieren cuáles son las zonas terrestres en que potencialmente pueden darse los más serios problemas, de no tenerse en cuenta las implicaciones contenidas en los dos modelos esquematizados en el apartado anterior.

La predicción diaria o estacional de la contaminación potencial puede ser, desde luego, la contribución más directa de la Meteorología al problema del control de la calidad de la atmósfera. Ahora bien, como se trata de una línea de investigación, que ha de implicar labor colectiva más que individual nos parece impropio profundizar acerca del tema, y en general sobre "Climatología", en un Manual. Referimos al lector a la cita ya mencionada (2), o a una reciente publicación (5), así como a los trabajos de Holzwort.

Posibles cambios climatológicos debidos a la contaminación

Para terminar no podemos dejar de mencionar la debatida cuestión de si pueden o no las actividades humanas, a través de la contaminación, dar lugar a cambios climáticos.

A este respecto digamos tan solo que tales cambios podrían ser debidos al creciente aumento de la concentración de anhídrido carbónico y partículas materiales, en la troposfera, por una parte, y a alteraciones producidas en la capa de ozono en la estratosfera.

Cambios troposféricos

La concentración de CO_2 en la atmósfera presenta una marcha ascendente hasta el extremo de llegar a duplicarse su valor en los últimos cien años. Ello debe producir una intensificación del efecto invernadero, dado que el equilibrio térmico terrestre es muy crítico, bastaría para desencadenar una disminución de la cantidad de hielo en los casquetes polares, proceso que por un mecanismo de "feed back", fácilmente comprensible, continuaría para dar lugar a una desglaciación general.

Por otra parte, las grandes cantidades de polvo lanzadas a la atmósfera, determinan un paulatino aumento de la concentración de fondo de partículas materiales que pueden pasar de los 60 $\mu g/m^3$ a 200 ó 1000 $\mu g/m^3$. A primera vista parece ser que tal aumento debería determinar un "enfriamiento" troposférico por disminución de la cantidad de radiación solar capaz de llegar al suelo; trabajos recientes obligan a admitir que el efecto de tales aerosoles debe depender, muy selectivamente, de su tamaño y naturaleza, pero en conjunto la acción global parece ser la de reforzar el efecto calentador debido al CO_2.

Cambios estratosféricos

Sabida es la importancia de la capa de ozono o la regulación de la radiación U.V. que llega ---

hasta nosotros; cualquier alteración que se produjera en ella pudiera determinar no tan solo una grave alteración del equilibrio, respecto a la radiación U.V., a que estamos habituados, sino también notables alteraciones térmicas en la estratosfera que indudablemente se reflejarían seguidamente en la troposfera y junto al suelo. Para comprender esta importancia de la concentración de O_3, en el equilibrio térmico, véase por ejemplo cuál sería la distribución de la temperatura con la altura, si la atmósfera solo contuviera vapor, capor + CO_2, CO_2 y finalmente vapor + CO_2 + O_3 (Figura 4.2.22.), en virtud del equilibrio radiactivo (corta C y larga L).

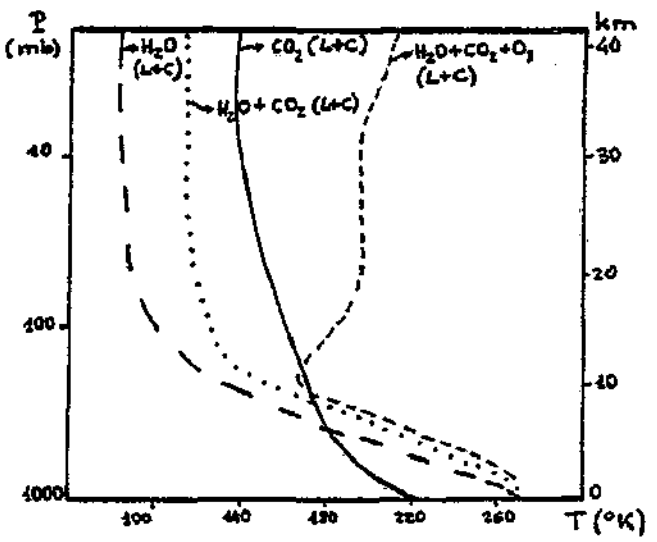


Figura. 4.2. 22

Pues bien, hace unos años cundió la alarma ante el riesgo de que los vuelos supersónicos y estratosféricos pudieran producir alteraciones irreversibles en la ozonosfera, sin embargo un informe reciente de la OMM (6), al que referimos al lector interesado en los posibles cambios climatológicos, pone de manifiesto que más peligroso que tales vuelos resulta ser el uso y abuso de los freones compuestos cloro-fluor-carbonatados, usados como propelentes en los spray, el NO_3 procedente de fertilizantes y compuestos clorados utilizados en plantas depuradoras... Tales sustancias inertes, insolubles y no degradables pasan a la estratosfera donde, bajo la acción de la radiación U.V., se descomponen y liberan NO, Cl y F capaces de alterar al ozono de forma casi irreversible pues serían precisos diez años para su recuperación...

BIBLIOGRAFIA (citada)

(1) Meteorology and Atomic Energy; Ed. D. Slade, (1969).

(2) Fundamentals of Air Pollution; Ed. A.C. Stern; Acad. Press, (1973).

(3) Meteorology Aspects of Air Pollution; R.C. McCormick; OMM Nota Técnica nº 106.

(4) Atmósfera y contaminación atmosférica; Investigación y Ciencia, 37: Octubre - 1979, Puigcerver.

(5) Contaminación atmosférica; J. Catalá; Revista Universidad Complutense XXV - 105 - 1976.

(6) Nota técnica nº 156; OMM; W.W. Kellog (1977).

BIBLIOGRAFIA GENERAL

- Meteorología; W.L. Donn; Reverté (1978).
- Introduction to the Scientific Study of Atmospheric Pollution; Ed. B.M. McCormack; Reidel Pub. Co. (1971).
- Air Pollution; H.C. Perkins; Ed. Mc Graw Hill (1974).
- Atmospheric Motion and Air Pollution; R.A. Dobbins; Ed. John Wiley & Sons (1979).
- The Atmosphere; F.K. Lutgens - E.J. Tarbuck; Prentice Hall Inter. (1979).

3.1 INTRODUCCION

Para el estudio de las aguas superficiales y subterráneas continentales partiremos del ciclo de agua en la naturaleza, cuyo estudio en forma gio al nos permitirá conocer las diferentes fracciones y el destino de cada una de ellas en el ciclo.

Al llegar el agua a la tierra, fundamentalmente en forma de lluvia, una parte va a dar lugar a la escorrentía superficial que originará los rios y otra se infiltrará en el suelo, dando lugar en su mayor parte a las denominadas aguas subterráneas, que irán directamente al mar o que en su mayor parte volverán a aflorar a la superficie y engrosarán las aguas superficiales.

Las primeras darán origen, por los general, a una cuenca hidrológica, mientras que las segundas originarán almacenamientos subterráneos de diverso tipo.

Las primeras van a ser los repectores fundamentales de contaminación, mientras que los segundos no se considerán como receptores, en sí, y sólo en casos excepcionales se efectuan inyecciones de aguas, tratadas como almacenamiento y depuración final. Mientras en el primer caso se puede estudiar incluso la carga contaminante que pueden soportar, en el segundo se tiende a evitar la contaminación, favoreciendo los sistemas de superficie que la eviten.

Para los estudios hidrológicos será necesaria, una caracterización de la cuenca, que vendrá determinada por el conocimiento de:

- Factores geográficos y morfológicos (situación geográfica, relieve, red hidrográfica).
- Factores climáticos (temperatura, precipitaciones, etc.)
- Factores hidrogeológicos (terrenos, naturaleza y litología, permeabilidad, fenómenos carsticos).
- Vegetación.
- Caudales de aguas superficiales.
- Características particulares (termalismo, recursos piscícolas, etc.).
- Utilización de las aguas.

Los dos últimos puntos, son aspectos de utilización de las aguas que no consideraremos aquí.

Por lo que respecta al agua en el suelo consideraremos la evapotranspiración y fundamentalmente la infiltración y los factores que la afectan como son los diferentes tipos de rocas y suelos así como los parámetros físicos, químicos y biológicos a considerar en un agua subterránea.

En lo que se refiere a las aguas superficiales consideraremos en primer lugar el fenómeno de erosión (por disolución o arrastre de rocas y suelos) y los factores de los cuales depende para terminar con características a determinar que ejercen influencia en las aguas o bien son de interés con respecto a la utilizanción posterior de las mismas.

3.2 CICLO HIDROLOGICO

El concepto de ciclo hidrológico lleva consigo el movimiento o transferencia de las masas de agua de un lugar a otro.

El movimiento permanente del ciclo se debe, fundamentalmente a dos causas:

- la energía proporcionada por la radiación solar, necesaria para evaporar el agua.

- la fuerza gravitatoria que hace que el agua condensada precipite y que una vez ha alcanzado la superficie, se dirija hacia las zonas más bajas.

Supongamos que el ciclo se inicia cuando los cambios de presión y temperatura del aire junto con los desplazamientos de las masas atmosféricas, originan los fenómenos de saturación de vapor de agua contenido en la atmósfera. Este vapor de agua condensa y da origen a precipitaciones en forma de lluvia, granizo o nieve.

Esta precipitación no alcanza la superficie del terreno en su totalidad, ya que se produce evaporación durante la caida y una parte es interceptada por la vegetación y otras superficies (edificios, carreteras, etc) y devuelta, al poco tiempo en forma de vapor.

Del agua que alcanza la superficie del terreno una parte queda retenida en charcas -almacenamiento superficial- y en su mayor parte vuelve pronto a la atmósfera en forma de vapor.

Otra parte circula por la superficie -escorrentía superficial- que dará origen a los rios, que verterán a lagos o al mar. Parte del agua que llevan los rios se infiltrará o bien se evaporará.

Una tercera parte penetrará bajo la superficie del terreno -infiltración- y rellenará los poros y fisuras de este medio. En casi todas las formaciones geológicas existe una parte superficial cuyos poros no están, habitualmente, saturados de agua y otra inferior que está saturada. En la zona no saturada o zona de humedad del suelo, queda una parte importante de la infiltración, que vuelve a la atmósfera por evaporación o de una manera más importante por la transpiración de las plantas. En la práctica no es fácil separar ambos fenómenos y se suelen denominar con el término evapotranspiración.

El movimiento del agua a través del terreno, se caracteriza por su lentitud y se debe fundamentalmente a la acción gravitatoria. En el movimiento del agua, en la zona no saturada, otras fuerzas, especialmente la tensión superficial, pueden jugar un papel muy importante.

El agua subterránea -o agua de la zona saturada- puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando su zona de separación con la zona no saturada queda suficientemente próxima a la superficie del terreno y particularmente cuando existen plantas del tipo de las denominadas freatófilas (sauce, chopo, fresno, etc) que poseen raíces muy profundas que llegan a alcanzar habitualmente el nivel freático.

Otras veces, el agua subterránea pasa a engrosar el caudal de los rios alimentando su cauce o a través de manatiales directos al mar en las zonas costeras. Estos manantiales a veces son submarinos.

Excepto en las cuencas endorréicas o interiores de las zonas áridas o semiáridas, la mayor parte de la escorrentía directa y de la subterránea, terminan en el mar y por ello podemos considerar a los océanos como el punto final del ciclo hidrológico, pues de ellos vuelve a evaporarse la mayor parte del agua y del ciclo se inicia de nuevo todo el proceso.

Un aspecto a tener en cuenta es que el movimiento del agua en el ciclo hidrológico se caracteriza por su irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo. Así en las regiones desérticas, la lluvia puede ocurrir en unos pocos días y no todos los años, en este caso algunos elementos del ciclo hidrológico, como la infiltración y la evaporación suelen ser también muy irregulares y la escorrentía superficial o subterránea, a veces, prácticamente inexistentes.

La acción del hombre va introduciendo cambios cada vez más importantes en el ciclo hidrológico. La construcción de presas y canales de derivación constituye hoy día la forma más extendida e importante de modificar el ciclo hidrológico.

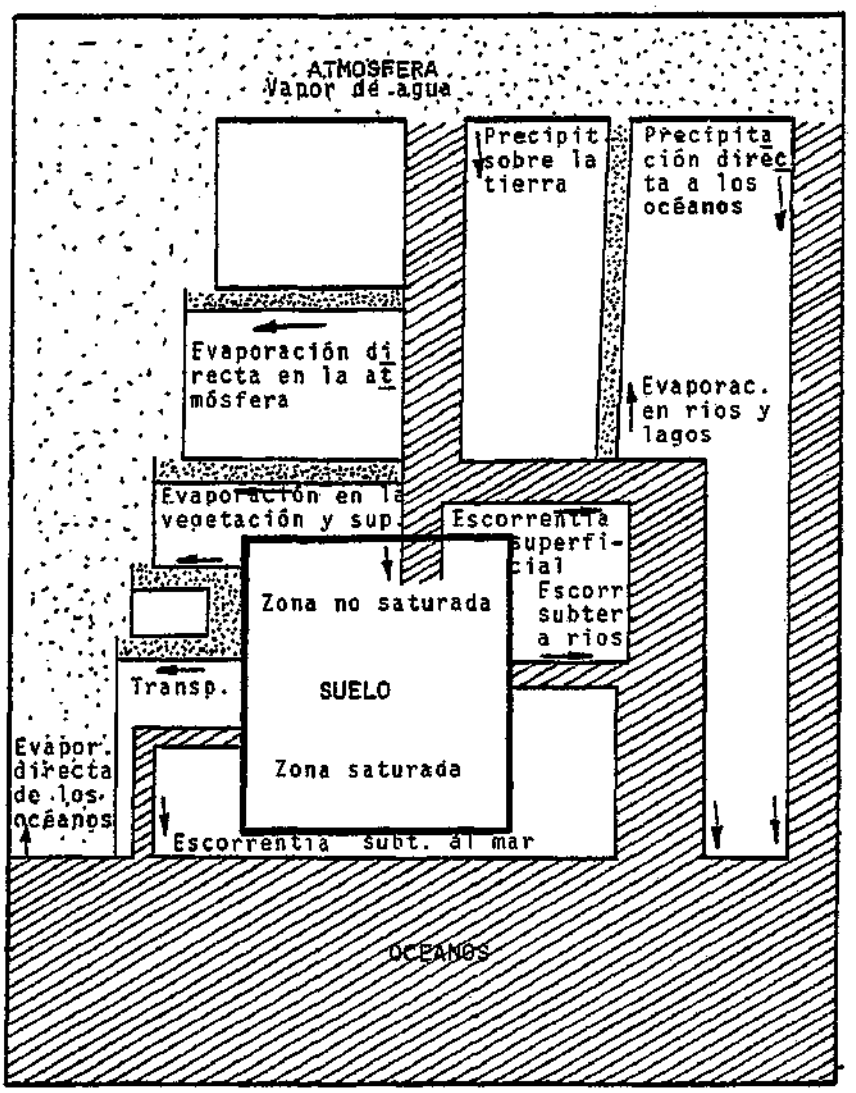


Figura: 4.3.1.

3.3 FACTORES CONDICIONANTES DEL REGIMEN HIDROLOGICO

Los primeros factores a considerar como condicionantes del ciclo hidrológico son los geográficos y climaticos, que a su vez se encuentran íntimamente relacionados. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los factores meteorológicos e hidrológicos se presentan en función del relieve y de la situación geográfica.

Por otro lado, los problemas prácticos de hidrología conciernen muy a menudo a una extensión de terreno limitada a la cuenca vertiente (topográfica o real) de un curso de agua en un punto determinado de ésta. La cuenca vertiente en un punto, o más precisamente, en una sección transversal de un curso de agua la definiremos como la totalidad de la superficie topográfica drenada por ese curso de agua y sus afluentes aguas arriba de dicha sección. Por tanto, la cuenca deberá estar definida lo más completamente posible desde este punto de vista.

Será conveniente conocer:

- Situación geográfica. - Latitudes extremas, límites superficie.

- Relieve. - Caracteres generales, altitud, pendientes, análisis de cuencas vertientes parciales, etc.

- Red hidrográfica. - Trazado de la red, perfiles longitudinales y transversales.

La influencia de los fenómenos meteorológicos sobre los componentes del ciclo hidrológico es intensa y fundamental (no se tratará aquí extensamente debido a que existe un capítulo específico).

Sobre los componentes del ciclo hidrológico, especialmente sobre la evapotranspiración influyen los siguientes factores:

- radiación
- temperatura
- duración del día
- presión
- humedad
- viento

además tenemos la precipitación que es el componente primario del ciclo. La precipitación es un fenómeno de tipo discontinuo y por ello no se puede hablar de su variación diaria o anual del mismo modo que se hace para otros elementos meteorológicos. Su distribución tanto en el espacio como en el tiempo es muy variables y por tanto su influencia sobre las cuencas hidrológicas también lo será. Hay que considerar también que en las cuencas de alta montaña la retención nivosa y glaciar influye decisivamente sobre los caudales.

Datos básicos para los estudios hidrológicos son los meteorológicos. Para obtenerlos existen diversos sistemas que dan valores de las variables meteorológicas en intervalos de tiempo fijados previamente o bien registrar de modo continuo su variabilidad. Pero, por lo general, interesa el estudio de una zona y el defecto común a todos ellos es el de estar situados en un determinado punto, por lo que a los errores propios del aparato se sumará siempre el que se produce al aplicar su medida a toda un área. Por eso

no se debe exigir una gran precisión del aparato y hay que aceptar sus medidas, teniendo en cuenta el objetivo final, es decir, obtener un orden de magnitud para la zona en estudio.

Los sistemas de medida de datos climáticos se verán en la parte referente a meteorología; no obstante consideraremos aquí los que se utilizan en la medida de precipitaciones, ya que son el componente esencial del ciclo.

La lluvia se mide por la altura que alcanzaría sobre una ideal superficie plana y horizontal, antes de sufrir pérdidas (evaporación, infiltración, etc.)

Los pluviómetros ordinarios miden cantidad de lluvia recibida en el intervalo de tiempo (generalmente un día), comprendido entre dos lecturas consecutivas. Los pluviómetros totalizadores se utilizan en lugares con difícil acceso donde las lecturas sucesivas se hacen separadas por intervalos amplios de tiempo Deberán contar, por tanto con colectores de mayor capacidad que el de un pluviómetro ordinario y en él se vierten, previamente medidas, sustancias que eviten la evaporación y en zonas frias otras sustancias que ayuden a la fusión de la nieve.

Los pluviógrafos registran de forma continua la variación de lluvia con el tiempo.

Para la medida de la nieve pueden emplearse los pluviómetros ordinarios o bien sistemas especiales para nieve -nivómetros-.

Análisis de los datos meteorológicos

Cuando el objeto del trabajo sea una previsión para el futuro, deberá partirse de lo ocurrido en el pasado, estudiando las denominadas series climáticas que son conjuntos de datos obtenidos sucesivamente en la misma estación.

Por lo que se refiere a los datos de lluvia, a los centros meteorológicos llegan datos correspondientes a:
- precipitación total mensual
- precipitación en 24 horas
- precipitación máxima mensual en 24 hr.
- número de días de lluvia, nieve o granizo en el mes.
- bandas de pluviógrafos.

Con el tiempo, todo este conjunto de datos resulta poco manejable por ello se acude a tratamientos estadísticos que racionalicen su presentación, sintetizando en pocos datos el máximo de información, generalmente se presentan:

- módulo pluviométrico anual medio.
- lluvia media mensual
- lluvia diaria
- yetograma
- curvas intensidad-duración
- curvas intensidad-duración-frecuencia.

Para el estudio hidrológico de una determinada extensión superficial de terreno es preciso estimar a partir de los datos obtenidos en unos cuantos puntos de observación, valores aplicables al conjunto de la zona.

La hipótesis general será considerar aplicable la medida obtenida en un punto a toda un área más o menos extensa según la densidad espacial de la red de observación. Determinar este dominio para cada estación es un problema en resolver en cada caso particular teniendo en cuenta las características del fenómeno meteorológico y de la zona en estudio.

3.4 EL AGUA EN EL SUELO

Cuando se produce una precipitación, al llegar el agua a la tierra, choca con ésta directamente y va a producir el comienzo de un fenómeno de erosión, particularmente importante cuando el suelo no tiene cobertura vegetal y relativamente poco importante cuando aquella existe.

Será necesario considerar un efecto mecánico y un efecto de disolución de materiales solubles. Dentro del efecto mecánico tendremos que considerar el impacto directo así como la infiltración en pequeñas fisuras y posterior congelación que producirá la disgregación de las rocas.

Una vez considerado el fenómeno erosivo el agua seguirá tres posibles caminos:

- se evaporará directamente
- penetrará en el suelo
- discurrirá por la superficie.

No consideramos aquí la que se evapora directamente desde la superficie pero sí las otras dos, que son las que pueden actuar como potenciales receptores de contaminación.

Agua que penetra en el suelo

Parte del agua que llega a la superficie de la tierra penetra a través de ella.

Hay una parte que podemos llamar "agua subterránea" y otra que, sin llegar a engrosar el que podíamos llamar volumen de "agua subterránea" propiamente dicha, está situada por debajo de la superficie terrestre, la llamaremos "humedad del suelo" y juega un papel importante en fenómenos como la evapotranspiración y la infiltración y en consecuencia es interesante su estudio tanto desde un punto de vista hidrólogico como agrícola.

El agua, al atravesar la superficie del terreno, se distribuye por él, quedando sometida a varias fuerzas, de cuya intensidad depende el mayor o menos grado de fijación al material sólido.

Existe también agua formando parte de la composición química de las rocas y agua en forma de vapor, pero consideraremos fundamentalmente el agua procedente del exterior en un determinado momento, que puede estar:

- retenida por fuerzas no capilares. Son las debidas a fuerzas eléctricas, efectos osmóticos, etc. y no es de interés ya que no se desplaza por gravedad, ni se extrae de la zona saturada por bombeo. Tampoco es agua útil agronómicamente, pues la fuerza de succión de las raíces, es, en general, inferior a la de retención del agua.

- retenida por fuerzas capilares. de interés agronómico fundamentalmente.

- agua no retenida por el suelo. Es el agua que penetra y desciende a través de los huecos, sometida fundamentalmente a la acción de la gravedad. Cuando este agua alcanza un fondo impermeable o una zona ya suturada, satura a su vez la zona subyacente. Se conoce como agua gravitaroria y constituye el agua

subterránea propiamente dicha. Está contenida en el suelo pero no retenida por él y circula libremente por efecto de los gradientes piezométricos.

Las fuerzas que actuan estarán en función de las características del suelo.

El suelo es el resultado de cambios físicos y químicos y de la actividad orgánica sobre las rocas a través del tiempo. La roca que evoluciona así se llama roca madre y en su corte vertical de suelo (perfil) podremos distinguir sucesivas capas de características diferentes (horizontes).

Los dos aspectos del estudio físico del suelo serán de interés en los estudios de infiltración de agua. La textura o proporción relativa en que se presentan los materiales sólidos que componene el suelo, y la estructura o disposición relativa de esos materiales en las condiciones naturales de un determinado suelo.

Distribución vertical del agua en el suelo

Un perfil de suelo en un momento determinado, puede contener a lo largo de su dimensión vertical, agua en todas las situaciones descritas.

Transcurrido un cierto tiempo sin que se alteren las condiciones de aportación y estructura, el agua tiende a alacanzar un equilibrio relativo y queda distribuida en una serie vertical de zonas de humedad. Por esta razón, cuando empleamos términos como -zona saturada-, debe entenderse incluida en el concepto la variable tiempo, y mantenidas las condiciones iniciales, ya que, en principio, también podrá estar saturada cualquier otra zona del perfil vertical.

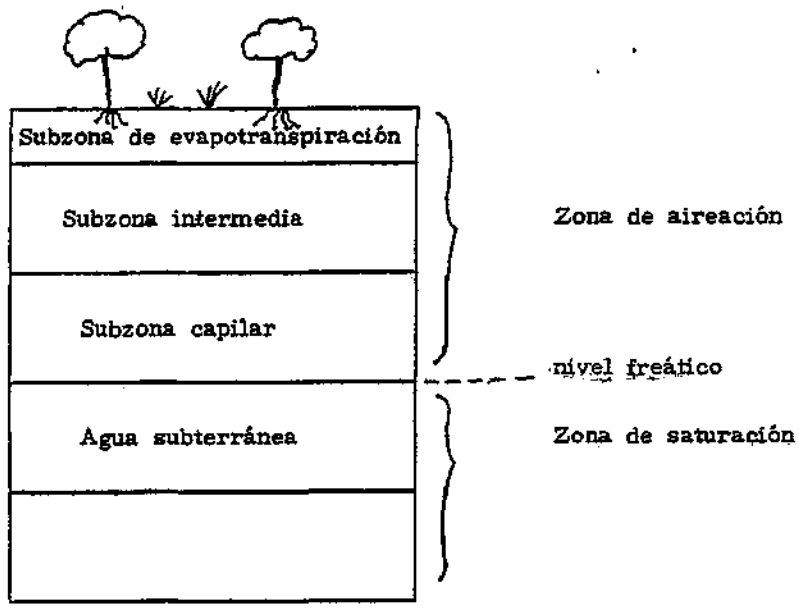
Se puede distinguir:

- Zona de saturación, limitada superiormente por la superficie freática (sometida a la presión atmosférica) en la que el agua llena todos los huecos existentes entre los materiales del suelo.

- Zona de aireación, situada entre la superficie freática y la superficie del terreno.

En esta se distinguen tres subzonas.

a) Subzona sometida a evapotranspiración: Comprendida entre la superficie del terreno y los extremos radiculares de la vegetación que descansa sobre él.
b) Subzona intermedia de características similares a la anterior y situada debajo de ella. No está afectada por las raíces de las plantas y por ello su compacidad es mayor.
c) Subzona capilar, es la de transición a la zona saturada propiamente dicha y alcanza una altura sobre la superficie freática que depende de las fuerzas capilares que la hacen ascender. Su parte inferior está también saturada.



Esta agua que se encuentra en el suelo va a seguir dos caminos:

- Evapotranspiración
- Infiltración.

- <u>Evapotranspiración</u>

Una gran parte del agua que llega a la tierra vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación o, a través de las plantas por transpiración.

La cantidad de agua que se escapa así al posible uso por el hombre, dada la dificultad de medir por separado ambos términos, se reune frecuentemente en el término evapotranspiración.

La influencia de estos fenómenos sobre el ciclo hidrológico es importante, si consideramos que en muchos lugares del mundo, el 70% de la precipitación que llega a la tierra es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y en algunos casos puede alcanzar valores más elevados.

A la evaporación afectan:

- La radiación solar, como fuente de energía (calor).
- La presión atmosférica, que crece al descender la presión atmosférica, manteniendo constantes los demás factores. Sin embargo al aumentar la altitud decrece la evaporación. Esto se debe a la mayor influencia de otros factores (temperatura del aire y del agua) en el ritmo de evaporación que la producida por el descenso, con la altitud, de la presión atmosférica.
- La pureza del agua tambièn influye, Para una misma temperatura decrece la tensión de vapor del agua con el aumento de sólidos disueltos y por tanto disminuye la evaporación.
- La naturaleza y forma de la superficie evaporante.

La transpiración es el resultado del proceso físico-biológico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas y pasa a la atmósfera.

Está afectada por los mismos factores que la evaporación y a su vez ciertos factores meteorológicos como la iluminación, temperatura y humedad del aire, condicionan la apertura de los estomas y por tanto influyen también en el fenómeno. La especie vegetal, edad, desarrollo y tipo de follaje, así como la profundidad radicular también tiene influencia.

Hay diversos métodos para medir la evapotranspiración, unos son directos (evapotranspirómetros, lisímetros) y otros empíricos como son las fórmulas de Thornthwaite, Blaney-Cridle, Turc, etc.

Lógicamente, el término evapotranspiración solo será aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación; cuando ésta no existe, únicamente podrá hablarse de evaporación.

- Infiltración

El agua que cae sobre la superficie de la tierra, queda detenida, discurrre por ella o bien penetra hacia el interior. La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo a través de la superficie terrestre y queda retenida por él o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente.

Superada la capacidad de campo del suelo -grado de humedad del suelo que ha perdido su agua libre o granífica- el agua desciende, fundamentalmente, por acción de la gravedad.

A la infiltración afectan diversos factores, que se puede agrupar en:

1) Factores que definen las características del terreno o medio permeable.
2) Factores que definen las características del fluido que se infiltra.

Dentro del primer grupo podemos subdividir en:

1.1) Condiciones de superficie
Compactación
Presencia o ausencia de capa vegetal y tipo de esta.
Pendiente del terreno
Terrenos fracturados, sin formación de suelo o formación incipiente, la clase, orientación y tamaño de las fracturas.

1.2) Características del terreno
Textura
Estructura, que define el tamaño de los poros.
Calor específico del terreno.
Aire presente en el suelo.

1.3) Condiciones ambientales
Humedad inicial del suelo.
Temperatura del suelo.

Por lo que respecta a las características del fluido consideraremos:

- Espesor de la lámina de agua sobre el terreno.

- Turbidez
- Contenido en sales.
- Temperatura.

La capacidad de infiltración la podemos determinar por varios mètodos, que podemos agrupar en tres sistemas, fundamentalmente:

- Infiltrómetros.
- Lisímetros.
- Análisis de hidrogramas de escorrentía.

Sin embargo, en la mayoría de los casos interesará, más que la intensidad de infiltración, un valor global del volumen de agua infiltrado en períodos de tiempo más largos (un mes, un año) qué es, en definitiva, el que permitirá estimar, racionalmente, cual debe ser la explotación de los recursos de agua subterránea, sin merma de las reservas o ver a que ritmo se irán agotando estas. No obstante, el estudio de la capacidad de infiltración sería fundamental en los casos de aguas polucionadas.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que tanto la medida de la capacidad de infiltración como la del total de agua infiltrada en un determinado período de tiempo, están intimamente ligadas a las condiciones locales, factor que habrá que considerar a la hora de utilizar los valores que se presentan en la literatura especializada.

Flujo de agua en medios porosos

El estudio macroscópico del comportamiento de un medio poroso es complejo, dada la forma complicada de los poros y canalículos por los que debe circular el fluido.

No obstante, pueden establecerse leyes de carácter macroscópico que tratan el medio como un continúo con unas propiedades medias vien definidas.

La relación macroscópica fundamental viene establecida por la Ley de Darcy que relaciona la velocidad de flujo de un fluido en un medio poroso y el gradiente hidraúlico.

$$v = K_i = - K \frac{dh}{ds}$$

en donde:

v —— velocidad de flujo
i —— gradiente hidraulico
K —— permeabilidad o conductividad

El gradiente hidraúlico es sinónimo de pendiente de manto por unidad de longitud o pérdida de carga por unidad de trayecto.

$$y \quad h = z + \frac{p}{\gamma}$$

siendo h la energía por unidad de peso de fluido, que en el caso del agua se denomina nivel piezométrico o potencial hidraúlico, z es la elevación con respecto a un plano de referencia arbitrario; p es la presión soportada por el fluido que se encuentra en los poros y γ el peso específico del fluido.

El régimen de flujo para medios porosos se ha establecido por analogía con el movimiento por un tubo y viene definido por el número de Reynolds, o sea, por el cociente entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas.

$$R_e = \frac{V.d.e}{\mu}$$

siendo:

v = velocidad de flujo (cm/seg).
d = tamaño medio de las partículas, o en terrenos fisurados d = 2e siendo e el ancho de la fisura en cm.
e = densidad del fluido (g/cm^3).
μ = viscosidad dinámica (dinas seg/cm^2).

La ley de Darcy es válida si R_e se encuentra entre 1 y 10. Siendo necesario, en general, que $R_e < 4$.

Además de flujo en régimen laminar, para la válidez de esta ley es necesario un medio homogeneo e isótropo y un sustrato impermeable horizontal.

Para valores mayores que los de validez de la ley de Darcy y sin llegar a iniciarse el régimen turbulento, el régimen es aún laminar pero no se pueden despreciar las fuerzas de inercia.

El flujo es turbulento para $R_e > 60$ ó $R_e > 180$ según diversos autores. Los valores límite dados dependen del tipo de material y de los datos que se adopten para definirlo.

Muchas rocas son en sí compactas e impermeables pero están rotas y en agua puede circular con mayor o menor dificultad por las grietas o fisuras existentes. Si estas forman una red densa, las rocas pueden comportarse macroscópicamente de forma similar a un medio poroso, en general, anisótropo, pues casi siempre existirán direcciones preferentes.

Si las grietas son de anchura pequeña el flujo en ellas es, en general, laminar. Si algunas grietas se desarrollan extraordinariamente por disolución, pueden llegar a formarse verdaderos conductos con circulación en régimen turbulento libre o forzado para los cuales deben aplicarse las correspondientes leyes hidraúlicas.

Hay dos características que definen al medio con relación al flujo de agua, de forma importante: la porosidad y la conductividad hidraúlica o permeabilidad.

La porosidad es una medida de la capacidad acuífera de un medio y juega un papel importante en la aptitud del mismo a efectos de la transmisión del agua. Esta aptitud se expresa por la conductividad del fluido en la formación.

La porosidad se define como la relación del volumen de huecos al volumen total de un medio poroso, èsta es la que llamaremos porosidad total y que viene expresada en %.

$$m = \frac{V_V}{V_T} \cdot 100 = \frac{V - V_S}{V} \cdot 100$$

siendo V_S el volumen de la fase sólida.

Se define también una porosidad eficaz, que es la relación, expresada en % entre el volumen de agua gravífica o libre y el volumen total de la roca.

La porosidad de los materiales consolidados depende del grado de cementación y del estado de disolución y de fracturación de la roca; en los materiales sueltos depende del grado de compactación de los granos de su forma, tipo de empaquetamiento y de su distribución por tamaños.

La conductividad hidraúlica K depende, tanto de las propiedades del fluido, como de las características del medio; es función del peso específico del fluido γ, de su viscosidad dinámica μ y de una longitud característica d, que es el promedio del tamaño de los poros del medio. Aparece también un factor de forma C, que tiene en cuenta los efectos de estratificación, de empaquetamiento, de la disposición de los granos, de la distribución de tamaños y de la porosidad.

$$K = C\, d^2 \frac{\gamma}{\mu}$$

al término $R = Cd^2$ se le denomina permeabilidad intrínseca y se acepta como característica de cada medio en particular.

En esta ecuación se admite que tanto el material poroso como el agua son química y mecánicamente estables. Puede ocurrir, sin embargo, que estas condiciones no se cumplan. Así por ejemplo los intercambios iónicos en las arcillas y en las superficies coloidales pueden producir cambios de volumen en los materiales del medio, lo que a su vez influirá sobre el tamaño y forma de los poros.

Valores medios de K y k (Davis y Wiest, 1971)

Material	K (cm/seg)	k (darcys)
Grava	$1 - 10^2$	$10^3 - 10^5$
Arena limpia (buenos acríferos)	$10^{-3} - 1$	$1 - 10^3$
Arenas arcillosas y arenas finas (acríferos pobres)	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 1$

Para finalizar este apartado será necesario considerar, en relación con la fórmula de Darcy, que la velocidad calculada por medio de esta fórmula es una velocidad aparente ya que está referida a una sección total, sólido y espacios vacíos, del material acuífero. En cambio, la que se mide directamente en la capa acuífera (por ejemplo, por métodos colorimétricos) es la velocidad real efectiva en la que intervendrá la porosidad eficaz para diferenciarla de una velocidad real media en la que intervendrá la porosidad total.

Las aguas subterráneas en los diferentes tipos de rocas

Las características de las aguas naturales subterráneas, así como su movimiento, están condicionadas por el tipo de roca así como por la interacción de las mismas con el agua.

Estos fenómenos resultan de una gran complejidad debido a la gran variedad de rocas y condiciones ambientales existentes.

Así tenemos que en las rocas metamórficas (pizarras, esquistos) y plutónicas (granitos, dioritas) no alteradas, se presenta siempre una porosidad total inferior al 3% y, en general, casi siempre inferior al 1%. Los escasos poros existentes en este tipo de rocas son muy pequeños y por lo general sin conexión entre sí; en consecuencia, las permeabilidades son tan pequeñas que pueden ser consideradas en la mayoría de los casos como nulas, desde el punto de vista práctico. Sin embargo, a través de las fracturas y zonas descompuestas puede desarrollarse una porosidad y permeabilidad considerable.

Muchas rocas metamórficas y un número reducido de rocas plutónicas continen minerales carbonatados los cuales son susceptibles de ser rápidamente disueltos por la circulación de las aguas subterráneas.

La permeabilidad media de las rocas plutónicas y metamórficas disminuye de un modo general a medida que la profundidad aumenta.

La cálidad química del agua procedente de estas rocas suele ser buena. Se encuentran excepciones en el caso de regiones áridas donde las aguas pueden haberse concentrado en sales por efecto de una evaporación intensa y también en los lugares donde el agua oceánica ha emigrado hacia el interior de las fracturas de las rocas.

En las rocas volcánicas la porosidad varía desde menos del 1% en el caso de los basaltos compactos hasta más del 85% en la piedra pómez.

Aunque la porosidad de las rocas volcánicas pueda ser a veces muy elevada su permeabilidad varía muchísimo en función del conjunto de estructuras primarias y secundarias de cada roca más que su propia naturaleza litológica.

La mayor parte de las aguas subterráneas procedentes de estas rocas poseen una excelente calidad química. Las de baja calidad suelen estar asociadas a surgencias de fuentes termales y a la saturación por agua de mar en zonas costeras y los problemas de disolución de las evaporitas en zonas desérticas.

Por lo que se refiere a las rocas sedimentarias, la mayor parte delas rocas detríticas de grano fino poseen porosidades relativamente elevadas pero muy baja permeabilidad. Lo más frecuente es que las rocas sedimentarias de grano fino constituyan barreras frente al movimiento del agua. Su porosidad decrece con la profundidad.

En el caso de las areniscas, su porosidad total suele variar entre un 5% y un 30% como máximo y la permeabilidad suele ser del orden de una a tres veces menor que la permeabilidad de los correspondientes sedimentos no consolidados ni cementados.

Así por ejemplo, la arena de grano medio posee generalmente una permeabilidad comprendida entre 1 y 30 m/día, mientras que los valores de las areniscas de grado medio varían entre 1 mm/día y 0,5 m/día. Esta diferencia se debe la mayoría de las veces a la reducción del espacio poroso por la presencia de cemento.

Por lo que se refiere a las rocas carbonatadas (calizas y dolomías) la porosidad primaria es relativamente elevada en la mayor parte de las calizas de edad reciente, sin embargo la permeabilidad suele ser baja. La mayor transmisibilidad de casi todas las calizas es debida a la presencia de grietas ensanchadas por un efecto secundario de disolución por el agua a lo largo de los planos de estratificación y zonas de porosidad primaria.

Todas las rocas sedimentarias presentan una cierta estratificación que les confiere, al menos, una pequeña anisotropía primaria entre las direcciones vertical y horizontal.

Existen generalmente diferencias muy marcadas en la calidad química del agua subterránea en los tres grupos más comunes de rocas sedimentarias. Las aguas procedentes de arcillas suelen tener un pH comprendido entre 5,5 y 7,0. Las de calizas poseen bajos porcentajes de sílice y cantidades ligeramente mayores de Ca y Mg así como valores de pH situados, generalmente, por encima de 7,0. La calidad química del agua procedente de las areniscas es algo más variable según el tipo de terreno acuífero, la composición mineralógica de los granos y la profundidad de la formación acuífera.

Las aguas subterráneas en depósitos no consolidados

Estos terrenos, por lo general, rellenan el fondo de los valles donde los niveles freáticos están muy próximos a la superficie. Estos terrenos tienen una disposición favorable para su recarga natural a partir de lagos, rios, etc.

La porosidad total de los depósitos no consolidados varía desde un mínimo de 20% correspondiente a los aluviones groseros mal clasificados hasta un 90% de fangos y material orgánico. Los valores más frecuentes están entre el 25% y el 65%.

La permeabilidad de estos terrenos puede oscilar entre una gama de valores muy amplia, aunque siempre es posible tener una idea previa del orden de magnitud a condición de conocer el origen geológico de los sedimentos.

Con respecto a la calidad del agua subterránea procedente de los depósitos aluviales suele ser buena. A excepción de las regiones desérticas y de las zonas de intensa explotación, el agua subterránea de las formaciones aluviales procede de la recarga local a través del mismo suelo del valle y de las aportaciones laterales de los ríos y acuíferos de los valles tributarios. La composición química de las aguas estará determinada por el tipo de vegetación local, cultivos y naturaleza litológica de las rocas que forman las laderas del valle y de los sedimentos no consolidados que rellenan el fondo.

Parámetros físicos, químicos y biológicos a considerar en un agua subterránea

Los parámetros a considerar en un agua subterránea vienen determinados por el uso que se va a hacer

de la misma, en sus condiciones naturales, ya que nos puede considerar como receptor de contaminación, sino que, por el contrario, se tenderá a evitar que la misma llegue hasta los acuíferos. Los considerados habitualmente son:

En el análisis físico del agua subterránea se mide la temperatura después de recoger la muestra.

El color: debido a materias minerales -Fe, Mn- u orgánicas que lleva en disolución y se suele expresar por comparación con soluciones standard.

La turbiedad o turbidez: que mide las materias en suspensión coloidal y aquellas muy finas difícilmente sedimentables tales como silicatos, materia orgánica diversa, etc.

El sabor y el olor: son determinaciones orgánolépticas subjetivas que pueden provenir de bacterias, gases disueltos, materia mineral, etc y que necesitan probadores experimentados.

Por lo que respecta a los parámetros químicos, ya hemos visto que depende por las rocas por las que atraviese el agua. En general, puede decirse que las aguas de terrenos Kársticos son bicarbonatadas - cálcicas o cálcicas magnésicas, las de terrenos yesosos son sulfatadas cálcicas, las de terrenos formados por granito o granito alterado son bicarbonatadas sódicas y cálcicas, las de terrenos sedimentarios de origen marino son cloruradas sódicas, etc.

En un agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Unos pocos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa la casi totalidad de los iones presentes, éstos son:

Aniones	Cationes
Cloruro Cl^-	Sodio Na^+
Sulfato $SO_4^=$	Calcio Ca^{++}
Bicarbonato CO_3H^-	Magnesio Mg^{++}

En ocasiones, los aniones NO_3^- (nitrato) y $CO_3^=$ (carbonato) así como el catión K^+ (potasio) se consideran dentro del grupo de iones fundamentales, aunque su proporción suele ser pequeña.

Entre los gases, deben considerarse el CO_2 y el O_2 disuelto aunque no es frecuente su análisis.

Otros parámetros importantes a considerar son pH, residuo seco y dureza.

Se suele calcular, a veces, los denominados índices hidrogeoquímicos, que son relaciones entre determinados iones, que nos informan de alguna característica particular del agua en relación al uso considerado para la misma o indicar la acción de fenómenos modificadores.

El análisis biológico en aguas subterráneas no se realiza habitualmente.

Normalmente, se suelen hacer análisis bacteriológicos relacionados con aspectos sanitarios del uso del agua.

Las aguas subterráneas como receptores potenciales de contaminación.

Una vez considerados los parámetros fundamentales a tener en cuenta en el caso de aguas subterráneas, podemos considerar los dos casos en que van a actuar como receptores de contaminación:

a) contaminación accidental provocada por aguas superficiales provenientes de desagües diversos, ríos contaminados, vertederos de basuras, etc.
b) Utilización de las características del terreno para inyección profunda de aguas residuales o bien inyecciones para detener el avance de aguas marinas.

En el caso b, se deberán buscar de modo preferente, formaciones que den lugar a acuíferos cautivos, al objeto de que las capas confinantes -impermeables o acuícludos- impidan o dificulten la migración del fluido contaminante inyectado, hacia zonas no desesdas.

Normalmente, la inyección profunda no es un modo de depuración de aguas residuales sino un modo de almacenamiento en el terreno.

En cuanto al caso a, al entrar los contaminantes en los acuíferos, tienden a moverse en sentido vertical descendente en un medio no saturado, pero una vez alcanzado el nivel freático tienden a desplazarse horizontalmente según el flujo existente; inicialmente tienden a quedarse en la parte superior del acuífero pero pueden afectar a todo el espesor después de un cierto tiempo, ya sea por dispersión y difusión ya sea por adición de nuevas cantidades de agua desde la superficie.

En su movimiento, los contaminantes están sometidos a varios tipos de acciones:

- filtrado mecánico en el terreno. Se elimina materia en suspensión y microorganismos.
- dispersión hidrodinámica y difusión. Tiende a diluir.
- Oxidación y reducción.
- absorción.
- absorción, que puede afectar a microorganismos.
- precipitación por formación de compuestos insolubles.

Las acciones más intensas se producen en los terrenos no saturados, siendo las acciones en los medios saturados más lentas y menos efectivas.

Desde el punto de vista biológico, la contaminación del agua subterránea suele llegar a constituir un problema allí donde el suelo que recubre las formaciones acuíferas tiene poco espesor o está ausente. A pesar de que las fracturas de las rocas plutónicas y metamórficas pueden tener frecuentemente una anchura inferior incluso a 1 mm., los organismos se desplazan con facilidad mayor en estos acuíferos que en los aluviales normales.

Por lo que respecta a las rocas volcánicas, debido a la permeabilidad extremadamente elevada de algunas de ellas, la contaminación biológica es un peligro potencial. No obstante, las rocas volcánicas tienden a alterarse muy rápidamente en superficie, con lo que los suelos que sobre ellas se desarrollan sirven para retener la mayor parte de los microorganismos.

El aspecto biológico de la contaminación del agua subterránea podemos considerarlo desde dos puntos de

vista.

a) comportamiento de los organismos patógenos en el terreno.
b) efecto de los microorganismos del suelo sobre los contaminantes.

Los microorganismos patógenos tienen dificultades de supervivencia en el terreno debido a:

- filtración: particularmente efectiva si la proporción de arcilla es elevada.
- adsorción.
- destrucción por otros microorganismos, condiciones desfavorables, etc.
- dilución por dispersión.

La mayor parte de la acción depuradora se realiza en el medio no saturado superior, siendo el efecto en el medio saturado mucho menor, por lo que será importante conocer el modo de introducción de los contaminantes a fin de establecer las distancias de seguridad para las captaciones de agua subterráneas.

Aguas superficiales

Hasta aquí hemos visto lo que ocurre con el agua que penetra en la tierra. La que no penetra, choca con aquella directamente y va a producir el comienzo de un fenómeno de erosión, que como ya vimos será poco importante cuando el suelo tiene cobertura vegetal y muy importante cuando no la tiene.

Con respecto a las aguas superficiales podemos considerar un efecto mecánico de rotura y arrastre y un efecto de disolución de las rocas, tanto uno como otros van a producir que las aguas que discurran por la superficie arrastren materiales

- en disolución.
- en suspensión.

El paso del agua por diferentes tipos de rocas en su curso, irá disolviendolas y variará sus características en función de los materiales disueltos y en suspensión. Tambien será necesario considerar la erosión secundaria de la corriente de agua (a lo largo del curso del rio), fenómeno muy importante en determinados rios.

Las condiciones ambientales influirán también sobre esta actuación, y todas en conjunto en adición a la velocidad (determinada por la pendiente) y el caudal, condicionarán la biología de las mismas.

Disolución de las rocas

En primer lugar consideraremos la disolución. En la disolución de las diferentes rocas va a influir:

- La superficie de contacto: a mayor superficie de contacto mayor cantidad de sustancia solubilizada para un mismo compuesto. Si la porosidad de la roca es importante pueden intervenir fenómenos de difusión.
- Tiempo de contacto: a mayor tiempo de contacto, mayor contenido en sales. En casos de aguas estancadas, se tenderá hacia el establecimiento de un equilibrio químico con las rocas circundantes.

- La temperatura; que generalmente aumenta la solubilidad, con las excepciones de $CaCO_3$ y $(Ca,Mg)CO_3$
- La dilución: La velocidad de disolución aumenta con la dilución.
- La presión de determinados gases: un aumento de la presión de CO_2 favorece el ataque a los carbonatos.

La disolución en mayor o menor medida de las rocas solubles, por ejemplos calizas ($CaCO_3$) dolomias ($(Ca,Mg)CO_3$; yeso ($Ca\ SO_4$, $2H_2O$), (NaCl) cloruro sódico, etc. dependerá de los factores mencionados.

En otros casos serán necesarios procesos de ataque químico a las rocas: procesos redox, hidrólisis, ataque por ácidos orgánicos o inorgánicos, que provoque la solubilización.

Además de los fenómenos de dilución de ataque, la composición química del agua cambia a lo largo de su recorrido, ya sea éste superficial o subterráneo como consecuencia de los procesos que actúan cambiando esa composición y que además de los enumerados tenemos procesos redox, concentración por nueva disolución, en función de las rocas drenadas (Así un aumento en la concentración de ion cloruro o de ión sodio permitrá una mayor disolución de $CaSO_4$ y de $CaCO_3$); evaporación (en función del clima) y otros dos procesos particularmente importantes como son la adsorción y el cambio iónico.

El cambio iónico es uno de los fenómenos que más influyen en la modificación de la composición química de un agua, sobre todo en determinados iónes como por ejemplo el Na^+ y K^+. Los minerales más importantes cambiadores de iones son las arcillas y las sustancias orgánicas (sustancias húmicas, turba, etc.)

Estos fenómenos de intercambio iónico modifican a veces extraordinariamente la composición de las aguas naturales, cambiando las relaciones que lógicamente deberían existir entre la concentración de algunos iones.

Las aguas naturales deberían poseer Na^+ y K^+ practicamente, en la misma proporción , puesto que así ocurre en las rocas ígneas de donde proceden ambos cationes. Sin embargo la acción adsorbente de los minerales arcillosos es la causa de que la relación de sodio a potasio en las aguas de río sea mayor que la unidad, ya que estos minerales, fácilmente, intercambian el sodio de su red cristalina con el potasio de las aguas.

Como consecuencia de estos procesos, el agua que discurre por la superficie o por el interior de la tierra adquiere una composición química variable según su procedencia, con arreglo a las rocas que drenó. Las rocas sedimentarias son las que aportarán el mayor número de iones en solución.

La cantidad de sustancias que estaban disueltas en el agua y que quedan después de haber evaporado esta, se denomina residuo seco.

Según lo que hemos visto, se compone, siempre, esencialmente, de sales minerales, pudiendo contener pequeñas cantidades de materias orgánicas en el caso de aguas no polucionadas. Si las aguas están polucionadas, las materias orgánicas pueden adquirir, en determinados casos valores importantes.

En la determinación del residuo seco es necesario eliminar previamente del agua toda sustancia que pudiera estar en suspensión en la misma, ya que de lo contrario, en el curso de la evaporación, las sus-

tancias suspendidas falsearían el resultado de la determinación.

En los "Standard Methods, 1971" se utiliza el término residuo filtrable para distinguirlo del residuo no filtrable que es el retenido por un filtro de unas determinadas condiciones y que corresponde al término sólidos suspendidos. La suma de los dos se denomina residuo total.

Materia en suspensión

Para que una partida sea llevada en suspensión por una corriente de agua, se necesita que ésta lleve una determinada velocidad y dependiendo además del tamaño de la partícula.

Se puede considerar que los materiales más finos son arrastrados por la corriente sin tocar el fondo nunca, es decir en suspensión. Los materiales más groseros ruedan sobre el fondo sin abandonarlo, es decir arrastre y finalmente los materiales de granulometría intermedia progresan por golpes sucesivos en una y otra forma.

En el transporte por suspensión las partículas se mantienen en un estado de equilibrio puramente mecánico entre las fuerzas de gravedad que tienden a depositar las partículas al fondo según la ley de caida límite y los cambios turbulentos de cantidad de movimiento que tienden a homogeneizar.

Debido al hecho de que muchas partículas cambian el transporte por arrastre al transporte por suspensión para un incremento de la velocidad y de éste al de arrastre si la velocidad disminuye, es difícil considerar ambos métodos de transporte separadamente.

Por tanto éste transporte dependerá de la velocidad (pendiente del río), turbulencia y variaciones del caudal.

Para un tamaño determinado, la cantidad de materia en suspensión depende de la turbulencia, que a su vez se verá favorecida por las irregularidades del fondo.

También, dependiendo del tamaño, tendremos partículas que son capaces de formar suspensiones estables aún en agua en reposo y otras que no las forman y que solo se encuentran en suspensión cuando el agua está en movimiento.

Las partículas de dimensiones coloidales se comportan de un modo independiente de la velocidad, permaneciendo indefinidamente en suspensión hasta que floculan.

Uno de los datos fundamentales para el estudio de las materias arrastradas o en suspensión es el régimen de un río, que se puede medir a través del conocimiento de los caudales circulantes medios, instantáneos o aportaciones en cada unidad de tiempo (día, mes, año).

La medida directa en forma contínua de los caudales exige técnicas complicadas, por ello las estaciones de aforo normales bucan la medida de una variable auxiliar cuyo conocimiento nos lleve, a través de una función intermedia, al conocimiento del caudal.

Una variable adecuada es el nivel variable de las aguas (h) y la función intermedia la llamada curva de

gastos. A cada valor instantáneo de h, tendremos el valor del caudal Q en el mismo instante. Normalmente se utiliza el linnígrafo que nos proporciona linnigramos que nos dan en cada instante el valor del nivel del río.

También se puede medir el caudal de una corriente de forma directa, empleando aparatos como molinetes y flotadores o realizando diluciones químicas.

Los molinetes hidráulicos se destinan a medir mecánicamente la velocidad de la corriente de agua en la que están sumergidos.

Los aforos químicos se basan en la variación de concentración que experimenta una disolución al ser vertida sobre el cauce de un río en el cual circula un caudal a determinar. Se utilizarán sustancias que no exista posibilidad de su existencia en el río.

También se utilizan trazadores radiactivos, que será generalmente un radioisótopo de vida corta.

El aforo con flotadores es el método más rudimentario para hallar la velocidad media de una corriente, pero también el más rápido y que precisa de menos elementos y preparativos. El flotador puede ser una botella lastrada, o incluso cuerpos flotantes transportados por las aguas de avenida. El tramo de aforo debe ser recto.

En la figura adjunta (tomada de Catalán, 1969) se puede ver la relación entre la velocidad de la corriente de paso y características del sedimento de materiales de una determinada densidad y velocidades a una determinada altura sobre el fondo.

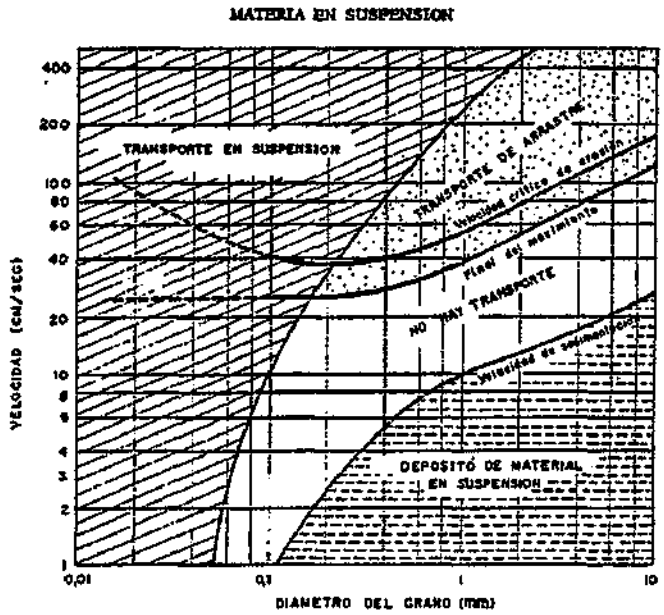


Figura: 4.3.2.

La materia en suspensión presenta grandes irregularidades ya que el 80% del aporte total, se hace en muy pocos días.

Hay que considerar la importancia que desde el punto de vista económico tiene, el poder reducir en lo -

posible la materia en suspensión de las aguas de los ríos, principalmente por lo que se relaciona con la conservación de los suelos y mantenimiento adecuado de los embalses de la cuenca, es decir, posibilidad de aterramiento.

Por otro lado, los sólidos en suspensión y la turbidez son parámetros importantes en el suministro de aguas domésticas e industriales. Las aguas deben de tener un límite máximo de una unidad de turbidez (según Train) basándonos en consideraciones de salud pública, por lo que se refiere a la desinfección efectiva por cloro, ya que la materia en suspensión proporciona áreas donde los microorganismos no entran en contacto con el cloro desinfectante.

Los efectos sobre los peces se pueden resumir en cuatro efectos adversos:

- actuando sobre el pez, directamente, matándolos o reduciendo su velocidad de crecimiento, resistencia a enfermedades, etc.
- interfiriendo con el desarrollo de los huevos y larvas.
- modificando los movimientos naturales y la migración.
- reduciendo la cantidad de alimento utilizable por los peces.

Un beneficio parcial de los materiales en suspensión es la adsorción de materiales orgánicos tales como pesticidas; seguido por una sedimentación, que los elimina provisionalmente de la columna de agua.

Volviendo de nuevo a la vida acuática, los habitats de agua dulce estarán condicionados por la mayor o menor velocidad de la corriente y consecuentemente por una mayor o menor presencia de sedimentos. Así se dividen los habitats de agua dulce en lóticos (de agua corriente: ríos, arroyos) y lénticos (de aguas quietas: lagos).

En las zonas de un río con características lóticas, zona que suele ser de agua somera donde la velocidad de la corriente es lo bastante grande para mantener el fondo limpio de lodo, tenemos un sustrato firme, desarrollando los organismos que allí viven adaptaciones para mantener su posición en el agua rápida, como sistemas de fijación al sustrato (ganchos, ventosas), conducta de movimiento a contracorriente (reotaxia positiva), tigmotaxia positiva (muchos animales de río poseen un tipo de conducta que les induce a adherirse o mantener su cuerpo en estrecho contacto con la superficie.

En las zonas que denominamos lústicas, de remanso de ríos, lagos etc. donde la velocidad de la corriente es reducida o nula, el cieno tiende a depositarse en el fondo, proporcionando así un sustrato blando poco favorable a las formas anteriores pero favorable en cambio a las formas que se entierran.

En los estanques y en los lagos se suelen manifestar tres zonas: (ver figura 4.3.3.)

Zona litoral. región de agua somera con penetración de luz hasta el fondo, ocupada típicamente por plantas enraizadas.

Zona limnética. zona de agua abierta hasta la profundidad de penetración eficaz de la luz, llamado nivel de compensación que es la profundidad a la que la fotosíntesis compensa justamente la respiración. La comunidad de estas zonas se compone solamente de plancton, necton y agunas veces de neoston. En algunos estanques poco profundos no se encuentra esta zona.

Es evidente que una mayor o menor materia en suspensión va a afectar a los organismos fotosintéticos de esta zona en función de una mayor o menor prenetración de la luz.

Zona profunda. Area del fondo que queda más allá de la zona de penetración de la luz.

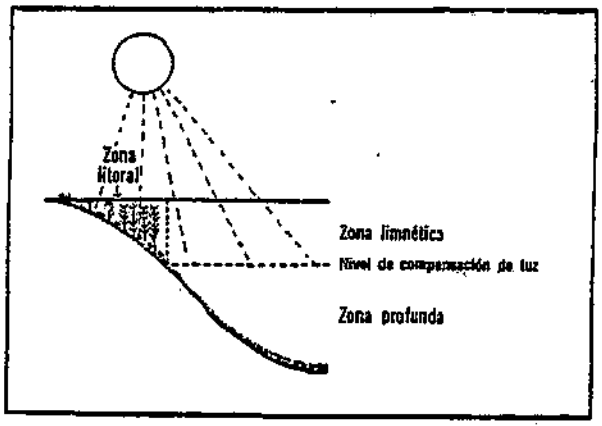


Figura: 4.3.3.

Otros factores a considerar en las aguas superficiales y subterráneas

Temperatura

La temperatura del agua es una de las más importantes características en un agua, que determina en una medida considerable, las tendencias de cambio en la calidad de un agua. Afecta a los equilibrios iónicos y a los procesos bioquímicos. Se admite generalmente que la velocidad de numerosas reacciones dependen considerablemente de los cambios de temperatura, (aumenta la velocidad de las reacciones el doble, cada 10º C) Consecuentemente, cuando se habla de parámetros tales como sedimentación, movilización de sustancias no disueltas, solución y pérdida de gases procesos de autodepuración biológicos o químicos, formación de sustancias polucionantes secundarias, es necesario conocer la temperatura del agua, aire y en casos de los sedimentos.

En algunos casos, la temperatura en un índice directo de la afluencia de factores humanos sobre la calidad del agua (polución térmica).

Otros aspecto importante dependiente de la temperatura es el de la estratificación de los lagos, característica que habrá que tener en cuenta particularmente si se trata de embalses o lagos de suministro de aguas potables.

La estratificación es un ciclo estacional típico. Durante el verano las aguas superiores se hacen mas calientes que las del fondo y como resultado, únicamente la capa caliente superior circula y no se mezcla con el agua más fria. Al subir la temperatura en el verano, la diferencia de temperatura entre las aguas de arriba y las del fondo aumenta, creando una zona intermedia llamada termo clina Al agua superior caliente circulante le denominamos epilimnio y al agua más fria del fondo hipolimnio. Existe un fuerte descenso de temperatura en la termoclina en los meses de verano. (período de estancamiento de verano).

Al comenzar el tiempo más frio, la temperatura del epilimnio baja, hasta ser igual a la del hipolimnio. Entonces el agua comienza a circular y el oxigeno es devuelto de nuevo a la zona profunda durante el cambio de otoño.

Al enfriarse el agua por debajo de 4º C, aumenta de volumen, se hace más ligera, permanece en la superficie y se hiela si el clima es frio, produciéndose la estratificación de invierno.

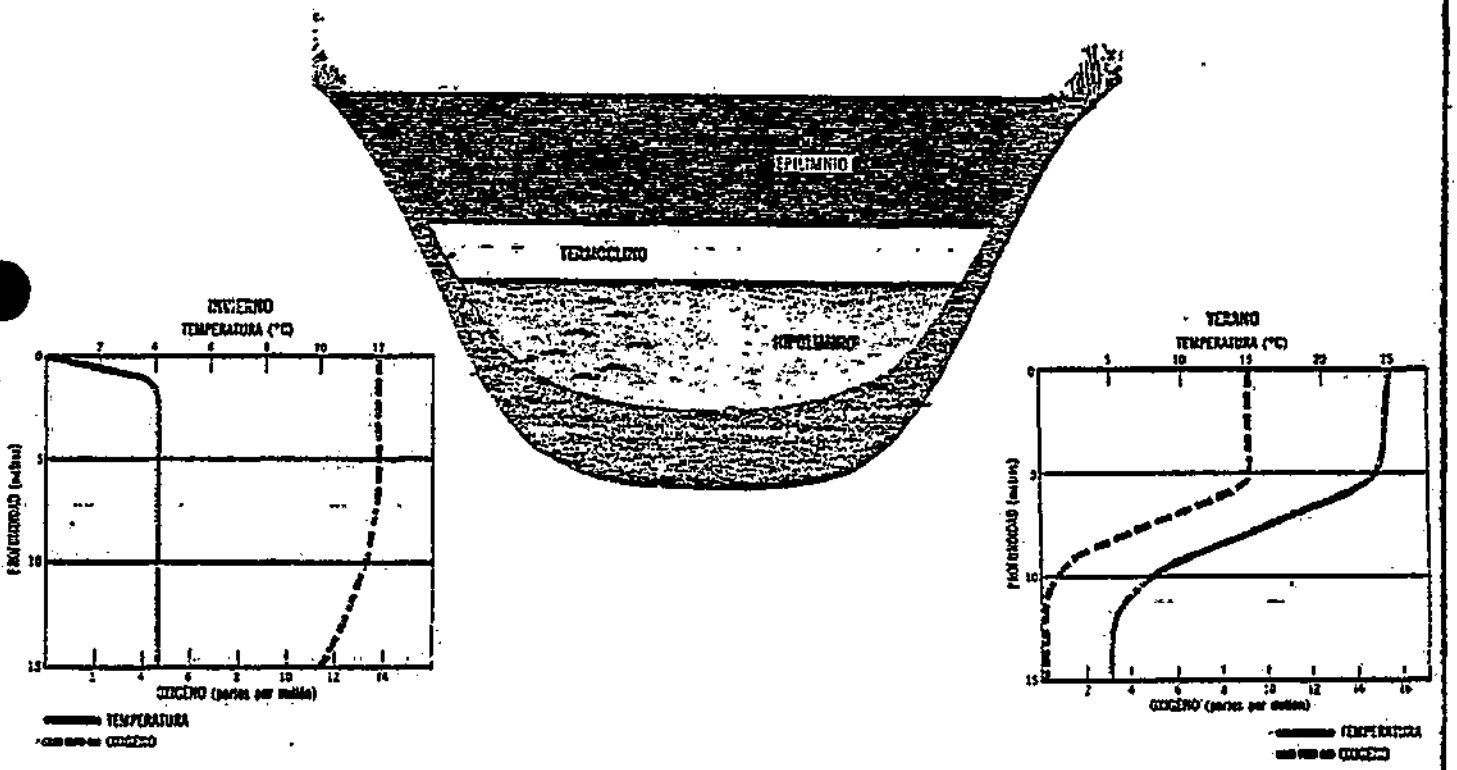


Figura: 4.3.4.

En invierno la reserva de oxigeno no suele reducirse fuertemente, porque la descomposición bacteriana y la respiración de los organismos no son tan grandes a temperaturas bajas y el agua retiene más oxigeno a estas temperaturas.

El estancamiento invernal, por consiguiente no suele ser tan severo. Puede producirse una excepción en esta generalización, cuando la nieve recubre el hielo e impide la fotosíntesis, de donde puede resultar un agotamiento de oxígeno para el lago entero.

En la primevera, al fundirse el hielo y hacerse el agua más caliente, se hace más pesada y baja al fondo. Así, cuando la temperatura de la superficie sube a 4º C, se produce la circulación de primavera.

Este panorama es típico de lagos en la zona templada, pero no es universal, ni siquiera en esta zona.

En lagos subtropicales con temperaturas de superficie que nunca bajan de 4º C, suelen exhibir un claro gradiente térmico de la superficie al fondo, pero solo experimentan un período de circulación general por año, que tiene lugar en invierno.

pH

La medida del pH, tiene como objeto determinar la actividad de los iones hidrógeno que están contenidos en una solución. En soluciones diluidas esta actividad se corresponde con la concentración.

Se define como: $pH = - \log H^+$. Es por tanto una medida de la "acidez actual", magnitud que tenemos que distinguir de la "acidez potencial" que determinaremos mediante valoraciones volumètricas.

El principal sistema regulador del pH en aguas naturales es el carbonato-bicarbonato.

El pH es un factor importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas normales. El grado de disociación de los ácidos o bases débiles es afectado por cambio de pH. Este efecto es importante debido a que la toxicidad de muchos compuestos es afectada por el grado de disociación. Un ejemplo es el ácido cianhídrico (HCN). La toxicidad a los peces de este compuesto aumenta conforme el pH baja debido a que el equilibrio químico se desplaza hacia un incremento en la concentración de HCN.

Sin embargo, un rápido incremento en pH causa un incremento en la concentración de NH_3 que es también tóxica. Se ha visto que el amoniaco es diez veces más tóxico a pH = 8 que a pH = 7.

La solubilidad de los compuestos metálicos existentes en los sedimentos o en el material en suspensión también es afectado por el pH.

El conocimiento del pH en agua dulce usada para suministro es importante ya que si no se ajusta a un determinado nivel, tales aguas pueden ser corrosivas y afectar de forma desfavorable al tratamiento, incluyendo la coagulación y la cloración.

El pH de 6,5 a 9,0 parece proporcionar una protección adecuada para los peces de agua dulce y a los invertebrados del fondo. Fuera de este intervalo, los peces sufren efectos fisiológicos adversos que se incrementan en severidad conforme se incrementa la desviación, hasta que se alcanzan niveles letales.

El pH del agua aplicada para riego no es normalmente un parámetro crítico. Comparado con la gran capacidad tampón del suelo, el pH del agua aplicada cambia rápidamente a aproximadamente el del suelo.

El peligro mayor en suelos ácidos es que los iones metálicos tales como el hierro, manganeso o aluminio pueden ser disueltos en concentraciones que son tóxicas a las plantas. Bajo condiciones alcalinas, el peligro para las plantas es la toxicidad de los carbonatos y bicarbonatos ya sea directa o indirectamente.

En aguas de riego el pH debe estar en un intervalo de 4,5 a 9,0.

En los sistemas de tratamiento también es fundamental. Un ejemplo típico lo constituye el proceso de fermentación anaerobia que consta de dos capas, una formadora de ácidos y pH bajos y otra de producción de metano que necesita un pH neutro muy estricto.

Conductividad

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica.

Se mide como la conductividad que existe entre dos electrodos paralelos de 1 cm^2 de superficie cada uno y separados 1 cm, situados en el seno del agua a medir. La conductividad es el recíproco de la resistencia y se mide en "mho" aunque se suele utilizar frecuentemente el micromho.

La conductividad de un agua es función de su temperatura, del tipo de iones presentes y de su concentración. Puesto que se suele referir a 25º C, sus variaciones únicamente serán función del tipo y concentración de los constituyentes disueltos.

El valor de la conductividad eléctrica puede servir cómo un índice aproximado del contenido total de sustancias disueltas. En aguas naturales, las variaciones de composición hacen que no exista una relación estrecha entre conductividad y residuo seco, pero esa correlación es bastante buena para aguas de composición química semejante en cuanto a distribución de aniones y cationes.

La medida de la conductividad se basa en el principio del puente de Wheastone, en el que la solución actúa como resistencia desconocida.

Alcalinidad

La alcalinidad es la suma total de componentes en el agua que tienden a elevar el pH por encima de un valor de 4,5. Es decir representa la capacidad de un agua para neutralizar ácidos. Existe la alcalinidad TA hasta pH = 8,3 (viraje de fenolftaleina) y TAC hasta pH = 4,5 (viraje del anaranjado de metilo) Se mide usualmente como mg/l de $CaCO_3$.

En aguas naturales no polucionadas, la alcalidad es debida, principalmente, a la presencia de bicarbonatos alcalinotérreos.

La alcalinidad del agua usada para suministro doméstico es importante debido a que afecta a las cantidades de sustancias químicas que necesitan añadirse para coagulación, ablandamiento y control de la corrosión en sistemas de distribución.

Alta alcalinidad en los sistemas industriales de suministro a industrias de alimentación pueden resultar perjudiciales, especialmente a industria de bebidas carbónicas donde la acidez es necesaria para su estabilidad y aroma. En otros casos la alcalinidad puede ser necesaria debido a que el agua con alta alcalinidad es mucho menos corrosiva.

El efecto de la alcalinidad en el agua usada para riego puede ser importante en algunos casos ya que, indirectamente, incrementa la proporción relativa de sodio en el agua del suelo.

Color

El color en el agua proviene de los procesos degradativos en el ambiente natural. Aunque formas coloidales de Fe y Mn, ocasionalmente son la causa de color en el agua, la más común son compuestos orgánicos complejos originados de la descomposición de materia orgánica natural.

Fuentes de material orgánico son: materiales húmicos del suelo como taninos, ácido húmico y humatos; así como plancton y otras plantas en descomposición.

Los residuos industriales pueden contribuir de una forma similar por ejemplo los procedentes de las industrias de papel y pulpa, curtidos, textiles e industrias químicas.

Las aguas superficiales pueden aparecer coloreadas debido a la materia en suspensión que comunica turbidez. En general se refiere a este color como color aparente, para diferenciarlo del verdadero color causado por materiales húmicos coloidales.

El color se mide por comparación con un Standard arbitrario de $Cl_3Co + Cl_6 Pt H_2$, es decir, unidades o ppm de Pt-Co.

Los efectos del color sobre las aguas de suministro son principalmente estéticos.

Sobre la vida acuática, principalmente, reduce la pentración de luz y la fotosíntesis del fitoplancton y los restringe a la zona de crecimiento de plantas vasculares acuáticas.

Dureza

La dureza en un agua es causada por los iones metálicos polivalentes disueltos en ella.

En aguas dulces, son principalmente calcio y magnesio, aunque otros metales como hierro, estroncio y manganeso pueden contribuir en la extensión de las concentraciones presentes de los mismos.

Podemos distinguir tres clases de dureza:

Dureza temporal: debida al calcio y magnesio asociado a bicarbonatos.
Dureza permanente: debida a la presencia de sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio disueltos en al agua.
Dureza total: la suma de las dos anteriores, que da la totalidad de las sales de calcio y magnesio disueltas.

La dureza se puede expresar como ppm de $CaCO_3$ y también por los llamados grados hidrotimétricos.

1º H. Francés es igual a 10 mg/l de $CaCO_3$.
1º H. Alemán es igual a mg/l de cal expresada como CaO.

Turbidez o turbiedad

La turbiedad del agua está conectada con la presencia de sustancias coloidales y en suspensión de varios origenes. Estas sustancias están formadas por una mezcla compleja de materias sólidas minerales y orgánicas, coloides de hidróxidos de hierro y aluminio, microorganismos, etc.

Se determina por comparación con suspensiones de una solución standard de SiO_2.

BIBLIOGRAFIA

CASTANY, G (1971). Tratado práctico de las aguas subterráneas. Ed. Omega.
CATALAN, J. (1969). Química del agua. Ed. Blume.
CUSTODIO, E y LLAMAS, M.R. (1976). Hidrología subterránea.
DAVIS, S.N. y WIEST, R. de (1971). Hidrogeología. Ed. Ariel
DEGREMONT (1979), Manual técnico del agua.
GRAF, W.H. (1971). Hydraulics of Sediment transport. Ed. Mc. Graw-Hill.
ODUM, E.P. (1972). Ecología. Ed. Interamericana.
REMENIERAS, G. (1971). Tratado de hidrología aplicada. Editores técnicos asociados.
TODD, D.K. (1973). Hidrología. Agua subterránea. Ed. Paraninfo.
TRAIN, R.E. (1979). Quality criteria for water. Castle House Pub. Ltd.
UNESCO-WHO (1978). Water quality surveys. Ed. Unesco.

4 1. - INTRODUCCION

El mar es un enorme depósito capaz de recibir una gran cantidad de desperdicios y materiales extraños al mismo sin apenas dejar sentir su influencia sobre el medio. Ello no quiere decir que su capacidad de recepción de estos materiales y substancias sea ilimitada. El simple cálculo de la concentración global, teniendo en cuenta su volumen y el flujo de substancia nos llevaría a un absurdo por dos motivos: la descarga se efectúa normalmente en un lugar determinado cuya capacidad de exportación es limitada, y existen mecanismos naturales para la eliminación de la mayor parte de substancias sea cual sea su composición química o estructura física.

El conocimiento de esta capacidad de recepción es una de las principales tareas con que se encuentra el oceanógrafo o el ingeniero que desean minimizar el impacto ambiental de la descarga. Sin embargo, desde los procesos físicos, que regulan la dispersión a través de las corrientes, y de los mecanismos de difusión turbulenta, hasta los procesos biogeoquímicos que regulan la transformación de estas substancias a una forma inocua o bien, por el contrario, que promueven su incorporación a las cadenas tróficas y finalmente a la cadena alimentaria del hombre, el desconocimiento es enorme y la falta de criterios, para poder establecer parámetros de control de las descargas, evidente.

Solamente mediante un estudio en profundidad de estos procesos a un nivel general, que lleve a la construcción de modelos de simulación y la investigación en cada caso concreto de los valores que tomarían los parámetros de control. puede llevar a una aproximación realista del problema. Por desgracia todavía estamos lejos del momento en que una aproximación integral al problema sea posible. Generalmente se tratan todavía aspectos sectoriales. olvidando por completo otros aspectos, colaterales en apariencia, pero de una gran influencia sobre el aspecto principal.

El texto que sigue es un intento muy preliminar de presentar en forma muy resumida una introducción a algunos de los aspectos de la Oceanografía. La adaptación de este material al curso debe realizarse a través de los comentarios que los usuarios de este material hagan. Desafortunadamente no se podría escribir un texto de Oceanografía general (los hay muy buenos) y tampoco se podrían aislar casos concretos para servir de modelo. Es de esperar que se produzca una interacción entre el autor y los usuarios para que en sucesivas ediciones, el material se pueda ir mejorando.

4. 2. PROPIEDADES FISICAS DEL MEDIO MARINO

Aunque no es éste el lugar apropiado para tratar en profundidad de las propiedades físico-químicas del agua, que pueden hallarse en cualquier tratado sobre la materia, algunas de ellas por su especial relevancia para la dinámica marina, merecen ser tratadas aquí con cierto detalle, en particular la temperatura y la salinidad que, junto con la presión, determinan la densidad a su vez la variable principal de cualquier ecuación de estado.

4. 2. 1. Temperatura

Fuera de la capa superficial en la que esta variable está controlada por el balance energético del agua de mar (*) que está afectada localmente sólo por los procesos de abvección y difusión (ver sección 4), así como, a profundidades relativamente grandes, por el efecto de compresión o expansión que se produce al cambiar de posición en sentido vertical. Ello obliga a considerar la "temperatura potencial" que es la temperatura que tendría esa misma agua si se le quitase el efecto de la presión, es decir si fuese transportada

adiabáticamente a la superficie.

La medición de la temperatura no ofrece grandes dificultades, excepto por el hecho de que los termómetros utilizados deben estar protegidos contra la influencia térmica de las aguas por las cuales han de pasar en su ascenso, con temperaturas generalmente distintas de aquélla que se pretende medir. También para mediciones profundas, deben hallarse los termómetros protegidos del efecto de la presión sobre la columna de mercurio. Por estos dos motivos se utilizan en Oceanografía Física los termómetros de mercurio reversibles y protegidos.

La medida de temperaturas por medio de sondas eléctricas (termistores, resitencias, pares termoeléctricos, etc.) es una técnica cómoda que no ofrece dificultad alguna aparte la necesidad de tener un buen conocimiento de la profundidad a la cual se realiza la medición.

La medida de la temperatura superficial se pu de hacer también por medio de sensores remotos, capaces de determinar la longitud de onda y la intensidad de la radiación emitida por el agua en la zona del infrarrojo. Este método, que puede llegar a ser de gran utilidad en estudios a escala sinóptica, tiene no pocos factores limitativos cuando se trata de obtener los valores absolutos de temperatura en la capa superficial y, de hecho, no acostumbra a ser usado mas que para determinaciones cualitativas.

(*) En el actual estado de elaboracion de este manual no se va a analizar este balance energético. Para una introducción al problema se puede consultar.

4.2.2. Salinidad

El agua de mar contiene aproximadamente un 3,5% de materiales disultos, en su mayor parte en forma iónica, que le dan las características electroquímicas correspondientes a un medio de fuerza iónica de media a elevada, así como una conductividad eléctrica (conductancia por unidad de longitud) variable alrededor de unos 45 mmhos. cm^{-1}, propiedad cuya medida es normalmente utilizada para la determinación de la salinidad, al variar casi linealmente con esta variable.

La definición clásica de salinidad, como masa (en gramos) de las substancias sólidas disueltas en un kilogramo de agua de mar, ha sido recientemente substituída por otra basada en la relación de conductividades a 15 2C y presion atmosferica R_{15}, entre una muestra de agua de mar y el "agua normal" de 35 °/oo de salinidad, de modo que

$$S^{o}/oo = -0.08996 + 28.2972\ R_{15} + 12.80832\ R_{15}^{2} - 10.67869\ R_{15}^{3} + 5.98624\ R_{15}^{4} + 1.32311\ R_{15}^{5}$$

La determinación de la salinidad mediante el salinómetro de laboratorio se basa en la medida de la relación entre la conductividad de la muestra y la del "agua normal", a temperatura ambiente y presión atmosférica

$$R_t = C_{s,t.o} / C_{n,t\ o}$$

Las pequeñas diferencias de temperatura entre la muestra y el "agua normal" se compensan mediante un dispositivo corrector que tienen todos los alinómetros de inducción. Sin embargo, para convertir las medidas de R_t en valores de R_{15}, es necesario tener en cuenta la variación de la relación de conductividades

en función de la temperatura y que viene dada por

$$R_{15} = R_t + 10^{-5} R_{15} (R_{15} - 1)(T-15)(96,7 - 72,0 R_{15} + 37,3 R_{15}^2 - (0,63 + 0,21 R_{15}^2)(T-15))$$

Recurriendo a métodos gráficos se puede deducir que R_{15} puede ser substituída por R_t a la derecha de la expresión anterior sin gran pérdida de precision, de aquí que mediante el conocimiento de R_t y la temperatura a la cual se han realizado las mediciones se pueda, mediante las dos fórmulas anteriores o las correspondientes tablas internacionales, determinar primero la salinidad "nominal" como si la temperatura ambiente fuese de 15 °C y a continuación, la salinidad real mediante una corrección de temperatura.

Cuando las medidas de conductividad son hechas "in situ", es preciso tener en cuenta no sólo la temperatura, sino también la presión a que está sometida el agua. La medida es entonces no ya de una relación de conductividades, sino de la conductividad absoluta del agua $C_{s,t,p}$. En estas circunstancias, la relación de conductividades a la presión atmosférica y temperatura de la muestra "in situ" entre el agua de mar y el "agua normal".

$$R_t = C_{s,t,o} / C_{n,t,o}$$

Debe ser calculada recurriendo, por un lado, a la relación existente entre la conductividad del agua normal a la temperatura t y a la temperatura de 15°C

$$C_{n,t,o} = C_{n,15,o} \quad R_n \qquad \text{donde } R_n = 0,6765245 + 0,02013166\,T + 9,988659\ 10^{-5}\ T^2$$

$$- 1,942602\ 10^{-7}\ T^3 - 6,724914\ 10^{-9}\ T^4 \quad \text{y}$$

$$C_{n,15,o} = 42,896 \text{ mmhos cm}^{-1}$$

y, por otro lado, a la relación de conductividades entre el agua a la presión p y a la presión atmosférica.

$$C_{s,t,o} = C_{s,t,p} / r_{s,t,p}$$

donde $C_{s,t,p}$ es la medida de conductividad realizada "in situ" y $r_{s,t,p}$ es una función compleja de s, t, y p (Gascard 1970) que permite el cálculo de la salinidad a base de aproximaciones sucesivas. En primer lugar se considera que la salinidad de la muestra es 35°/oo. Se substituye este valor, la temperatura y la presión medidas "in situ" en la función que define $r_{s,t,p}$ calculándose una $C_{s,t,o}$ provisional y con ésta y $C_{n,t,o}$ se calcula R_t. Este valor permite, mediante las expresiones dadas para el caso de medidas en el laboratorio, calcular un valor de la salinidad aproximado. Se substituye este nuevo valor en la función de $r_{s,t,p}$ y se efectua todo el cálculo de nuevo. Mediante 3 iteraciones, el valor de la salinidad calculado difiere del real en una cantidad inferior a la resolución del propio instrumento de medida. Aunque el método de cálculo puede parecer farragoso, con la ayuda de una calculadora programable el cálculo se facilita enormemente, especialmente si se tiene en cuenta que el registro de datos procedentes de un sistema de registro "in situ" CTP (o CTD) acostumbra a hacerse mediante soportes magnéticos de fácil interpretación por computadoras.

4.2.3. <u>Densidad</u>

La densidad del agua de mar se entiende en Oceanografía como la relación entre dos pesos específicos (masa

por unidad de volumen en g cm^{-3}) y por lo tanto no tiene unidades. Si, por definición, el agua destilada a la temperatura de 4 °C tiene un peso específico igual a 1 g cm^{-3}, la densidad de un agua cualquiera es igual a la relación entre su peso específico y el del agua pura a 4 °C, siendo numéricamente igual a su peso específico.

La densidad del agua de mar depende básicamente de su temperatura, de su salinidad y de la presión (función de la profundidad) a la que está sometida. La densidad del agua de mar, para su uso en Oceanografía Física, debe ser conocida con una precisión, al menos, de 0,001%, por lo que no se puede determinar directamente con ningún instrumento, siendo necesario calcularla a partir de los valores que toman la temperatura la salinidad y la presión, todos ellos medidos más o menos directamente.

Todavía no se ha hallado una fórmula adecuada para calcular la densidad a partir de las medidas de conductividad, temperatura y presión, como sería de desear, por lo cual es preciso recurrir a un método algo más complejo que implica el cálculo previo de la salinidad. La densidad de una muestra de agua de salinidad s, temperatura t y situada bajo los efectos de una presión p, recibe el nombre de densidad "in situ" o $\rho_{s,t,p}$. La densidad de esa misma muestra a la presión atmosférica $\rho_{s,t,o}$ se acostumbra a expresar en la forma.

$$\sigma_t = (\rho_{s,t,o} - 1)\ 10^3$$

Esta nueva variable, sigma-t, sólo tiene en cuenta la dependencia de la densidad respecto a la temperatura y la salinidad y es útil en tanto que los procesos de mezcla entre distintas masas de agua se supone que tienen lugar a lo largo de superficies de igual sigma-t (superficies isentrópicas).

El método más usual para el cálculo de la densidad emplea la relación existente entre densidad y salinidad para la temperatura de 0 °C y a presión atmosférica que viene aproximada por

$$\sigma_o = -0\ 093 \quad 0,8149\ S \ -0,000482\ S^2 \quad 0,0000068\ S^3$$

así como la relación entre densidad y temperatura que viene determinada por el coeficiente de dilatación del agua, representado por una función empírica compleja, cuyos valores están tabulados y que se pueden aproximar mediante la expresión

$$\sigma_t = \Sigma_t\ (\sigma_o \quad 0\ 1234)(1 - A_t \quad B_t\ (\sigma_o - 0.1324))$$

donde $\Sigma_t = -(T - 3,98)^2 / 503,570 \times (T \quad 283) / (T \quad 67,26)$

$$A_t = T\ (4,7867 - 0,098185\ T \quad 0,0010843\ T^2)\ 10^{-3}$$

$$B_t = T\ (18,030 - 0,8164\ T \quad 0,01667\ T^2)\ 10^{-6}$$

<u>La Ecuación de Estado.</u>

En todos los cálculos de dinámica marina que se realizan es necesaria una ecuación de estado que relacione la densidad, o el volumen específico (su inversa) en función de la temperatura, la presión y la composición química. Hasta ahora nunca se ha tratado de identificar la participación de cada una de las especies iónicas á la densidad, tomando la salinidad como representación del conjunto de especies. La ecuación de estado de un gas seco (la atmósfera por ejemplo) es simple ($p = \rho RT$) pero en el océano resulta bastante

más complicada y difícil especialmente cuando se intenta escribir en forma analítica. En general se puede decir que

$$\rho = \rho(s\ t, p) = \rho_{35\ o\ o} + \varepsilon_s + \varepsilon_t + \varepsilon_{s,t} + \varepsilon_p + \varepsilon_{s,p} + \varepsilon_{t,p} + \varepsilon_{s,t,p}$$

Los primeros cuatro términos se pueden substituir por sigma-t, mientras que los otros cuatro términos representan la compresibilidad. Aunque en la práctica se puede decir que la presión (en decibares) es equivalente a la profundidad (en metros), en general la presión es substituída por el concepto de "profundidad dinámica" D variable independiente derivada del campo geopotencial que representa el trabajo requerido para mover la unidad de masa desde el nivel del mar hasta cualquier punto. La ecuación de estado queda entonces reducida a

$$\rho_{s,t,p} = 1 + 10^{-3}\sigma_t + \varepsilon_D + \varepsilon_{s,D} + \varepsilon_{e,D} + \varepsilon_{so,D}$$

aunque la formulación analítica completa no ha podido todavía realizarse.

Ekman estableció una fórmula empírica, basada en medidas de compresibilidad del agua de mar de la forma

$$\alpha_{s.t.p} = \alpha_o\ (1 - \mu p) \qquad \text{donde}$$

α es el volumen específico (inversa de la densidad) a presión p; α_o es el volumen específico a presión atmosférica; p es la presión en decibares y $\mu = \mu\ (\sigma_o, e, p)$, la compresión media del agua de mar es una función relativamente compleja que ha podido ser aproximada por Fofonoff (1962).

Eckart por otro lado, estudiando la densidad y compresibilidad de agua pura y agua de mar, llegó al establecimiento de otra forma de la ecuación de estado

$$(p\ p_o)(\alpha - \alpha_o) = \lambda$$

donde $\alpha_o = 0.6980$; $p_o = 5890 + 38\ \theta - 0,375\ \theta^2 + 3S$; p es la presión total en atmósferas (1 atm = 10,1325 db) α es el volumen específico en ml g^{-1}, y $\lambda = 1779,5 + 11,25\ \theta - 0,0745\ \theta^2 - (3,80 + 0,01\ \theta)\ S$.

Ambas formas de la ecuación de estado han sido comparadas y sus diferencias , en general pequeñas, han sido tabuladas. Sin embargo estas formas de la ecuación de estado no son suficientemente prácticas por lo que, en casos concretos, se pueden llebar a cabo simplificaciones que, aun careciendo de la base teórica de las anteriores, facilitan su uso.

Diagramas T-S

Aunque no existe ninguna relación funcional entre la temperatura y la salinidad del agua de mar, en el océano se observan determinadas asociaciones preferentes de estas dos variables que se pueden mantener en áreas geográficas relativamente grandes. El diagrama T-S es una forma gráfica de representación de la relación entre estas dos variables y entre ellas y la densidad, cuando se superpone el diagrama una familia de curvas que representan los valores de σ_t. La representación se puede hacer en forma de perfiles verticales, de superficies de nivel, o identificando los máximos o mínimos relativos de la temperatura o salinidad en grandes extensiones. Esta última forma de utilización del diagrama T-S, llamado método del

núcleo o de Wust, permite analizar la dispersión de una determinada agua tipo en una región así como su estado relativo de mexcla en cada lugar.

Cuando el diagrama T-S. con las curvas de igual sigma-t superpuestas, incluye los valores correspondientes a una estación vertical, la pendiente de las curvas T-S relativa a la pendiente de las curvas sigma-t indica la estabilidad de la columna de agua, factor muy importante en relación con la mezcla vertical de agua.

En las capas más superficiales, donde calor y agua pueden ser intervambiados a través de la superficie límite con la atmósfera o con la tierra, ninguna de las dos variables (T y S) pueden ser consideradas conservativas. En las aguas más profundas, sin embargo, el diagrama T-S puede servir no sólo para detectar errores en cualquiera de las dos variables, siempre que no se traten de errores sistemáticos, sino tambien -- para analizar algunos conceptos básicos usuales en Oceanografía Física, como son el "agua tipo" y el de "masa de agua". El primero corresponde a una forma idealizada de considerar un origen de agua, con características constantes (un punto en el diagrama T-S), y el segundo a una forma también idealizada de considerar un proceso de mezcla entre aguas de origen distinto, ya que cualquier estado de mezcla entre dos "aguas tipo" produce una "masa de agua" representada en el diagrama T-S por una recta entre aquéllas. Sólo las profundidades cambian sus posiciones sobre dicha recta según el estado de desarrollo de la mezcla, de aquí que se pueda establecer el % de cada una de las "aguas tipo" que existe a cada nivel. Mezclas de - agua entre más de dos "aguas tipo" producen curvas T-S más o menos complicadas. La existencia de vértices más o menos redondeados permite extrapolar la existencia de un agua tipo en el punto de intersección de dos rectas correspondientes a sendas "masas de agua" adyacentes.

4.3. COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA DE MAR

Si se excluyen los materiales sólidos en suspensión y los organismos presentes, el agua de mar se puede considerar como una solución acuosa de diversas substancias sólidas y gaseosas. No siempre es fácil determinar la composición química del agua o hacerlo con la precisión requerida, al existir una gran desproporción entre las concentraciones de determinadas substancias o especies químicas como, por ejemplo, - ocurre entre los iones cloruro y nitrato o sodio y amonio. Por otro lado, la precisión con que algunos -- análisis deben ser llevados a cabo es tal que los métodos usuales no pueden ser aplicados directamente al agua de mar. ello sin contar con las múltiples interferencias que se presentan en este medio.

En Oceanografía Química se acepta el principio de la "constante composición relativa" del agua de mar. Se acepta que, independientemente de la salinidad total,, la relación entre la concentración de cualquier componente y la salinidad es constante. A esta hipótesis, que determina la validez ce la relación clorinidad: salinidad: densidad y por lo tanto todas las conclusiones derivadas de ella, no debería dársele una importancia excesiva pues son muchos los elementos menores y aun mayores que se desvían fuertemente de este comportamiento. Puesto que los intercambios de materia efectuados con la atmósfera o con los - sedimentos, así como los aportes de aguas continentales y la acción de los organismos, tienden a alterar las concentraciones relativas, es preciso recurrir a la mezcla entre las distintas parcelas de agua para comprender la razón de esta constancia en la composición. En realidad, el motivo principal es el gran - tiempo de residencia $\tau = S/(ds/dt)$ o cociente entre la cantidad total de una substancia en el mar y su velocidad de entrada o salida del mismo, que presentan la mayoría de elementos y compuestos. El agua, con un tiempo de residencia de unos 4000 años es el constituyente más móvil si se tiene en cuenta las importantes variaciones de salinidad que se aprecian entre las distintas regiones del océano.

Diversas tablas, más o menos coincidentes, han sido publicadas con la composición típica del agua de mar

(Sverdrup et al 1943; Horne 1969) y no vamos aquí a entrar en la descripción detallada de la forma química en que se encuentran los distintos elementos así como de su ciclo biogeoquímico. Se acostumbra a clasificar a los distintos elementos de acuerdo con su concentración relativa en elementos mayores, menores y trazas.

4.3.1. Elementos mayores

Se agrupan aquí aquellos elementos que determinan las propiedades físico-químicas del agua como medio. Son básicamente, aparte los constituyentes del agua, hidrógeno y oxígeno, los halógenos presentes siempre en forma de haluros, principalmente el cloruro, que constituye el 55% en peso de todos los materiales disueltos y cuya concentración se usa como base para relacionar todos los demás elementos. En su determinación se incluyen normalmente el bromuro y el yoduro, dando lugar a lo que se llama normalmente clorinidad (gramos de Cl^-, Br^- y I^- todos ellos expresados como equivalentes en Cl^-, en un kilogramo de agua) y que durante muchos años fué la base para la determinación de la salinidad $s = 0,03 \; 1,805 \; Cl$.

Siguen en importancia los metales alcalinos y alcalino-térreos (sodio, potasio, magnesio, calcio y estroncio). Tanto el potasio como los alcaino-térreos intervienen en la composición de los diversos organismos y por lo tanto pueden presentar importantes variaciones en el medio, a diferencia del sodio que aparece en concentraciones relativas (al cloruro) muy constantes. En particular la relación calcio/magnesio en el mar es muy distinta de la que presentan las aguas continentales, debido posiblemente no sólo a la acción biológica sino a la precipitación de carbonato cálcico inorgánico en determinadas áreas próximas a las desembocaduras de los ríos. El calcio desempeña además un papel importante en el equilibrio del sistema $CO_2 : HCO_3^- : CO_3^=$.

El azufre, principalmente en forma de sulfato, desempeña un importante papel en determinadas regiones en que el consumo de oxígeno es muy grande, sobre todo por los procesos químicos y bioquímicos, en particular causados por bacterias heterótrofas. Cuando las concentraciones de oxígeno son muy bajas, el sulfato substituye al oxígeno como sistema receptor de electrones, convirtiéndose en sulfuro. Areas anóxicas, es decir en ausencia completa de oxígeno, en las que se observa la existencia de sulfuros, se encuentran generalmente en los sedimentos de zonas estuarinas, en cubetas aisladas del mar abierto como son el mar Báltico, el mar Negro o la Fosa de Caríaco en el mar Caribe, así como en determinadas capas por debajo de las áreas de gran producción biológica como son las del Océano Pacífico frente a Perú.

El carbono es otro elemento importante en el sistema marino, no sólo por ser imprescindible para el desarrollo de las plantas marinas, sino porque, junto con el calcio y algún otro elemento de menor importancia, parece regular el pH del medio. Sin embargo, cuidadosos estudios de las constantes de equilibrio del sistema $CO_2 : HCO_3^- : CO_3^=$ hacen pensar que otros elementos tales como el boro o el silicio y aun los propios organismos podrían desempeñar un papel tan importante sino más que el sistema del carbono.

4.3.2. Elementos menores

Constituyen este grupo de elementos aquellos que, sin afectar en forma substancial las características del medio pueden aparecer en concentraciones relativamente importantes. Podrían ser considerados aquí al menos tres grupos: los gases atmosféricos disueltos (oxígeno, nitrógeno y argón), los elementos nutritivos (nitrógeno, fósforo y silicio) y algunos metales frecuentes en la naturaleza (aluminio, hierro, manganeso, etc.).

Los diversos gases constituyentes de la atmósfera se encuentran en equilibrio con el agua de mar, mostrando normalmente niveles de saturación en las capas superficiales. Mientras que los contenidos de nitrógeno y argón apenas sufren modificaciones por procesos internos al mar y por lo tanto pueden ser considerados como variables conservativas, el contenido de oxígeno está fuertemente influído por los procesos de tipo biológico y bioquímico que tienen lugar tanto en el seno del mar como en los sedimentos del fondo. Existe, sin embargo, cierta regularidad en la distribución del oxígeno disuelto en el mar.

En la capa superficial, en contacto con la atmósfera, la concentración de oxígeno suele ser próxima a su saturación. Sin embargo, por la existencia en esta capa de organismos fotosintetizadores, frecuentemente las concentraciones superan ampliamente los valores de equilibrio con la atmósfera. Por debajo de la zona eufótica donde la tasa de respiración supera a la de fotosíntesis, la concentración de oxígeno va disminuyendo con la profundidad hasta llegar a cierto valor mínimo que, en áreas de gran productividad biológica, puede ser cero, apareciendo el fenómeno de anoxia ya citado en relación con el azufre. Los procesos de difusión y de advección (ver sección 4) son los responsables de contrarrestar esta disminución hacia abajo del oxígeno. Mientras que la difusión opera verticalmente más o menos en la misma forma cualquiera que sea la localización geográfica, la advección desempeña un papel determinante en la distribución del oxígeno ya que las distintas masas de agua que se originan normalmente en la proximidad de la superficie, están inicialmente saturadas de oxígeno pero, en su evolución horizontal y vertical están sometidas a cambios importantes que reducen, en mayor o menor grado, las concentraciones de dicho elemento. Es pues frecuente hallar en las capas más profundas concentraciones relativamente elevadas de oxígeno ya que las masas de agua que allí se encuentra, fuera de las cubetas cerradas a la circulación general, tiene su origen en las zonas polares desde las cuales rápidamente han llegado a ocupar las profundidades del océano, cualquiera que sea la latitud.

Otro grupo de elementos menores, los nutrientes, desempeñan también un papel importante en relación con los procesos biológicos al ser imprescindibles para la síntesis autotrófica de materia orgánica (fotosíntesis). Tanto el fósforo inorgánico que se halla normalmente en forma de fosfato, como el nitrógeno inorgánico no gaseoso que puede tomar las formas de nitrato, nitrito o amonio, según predominen en su formación los procesos aeróbicos (nitrificación) o anaeróbicos (amonificación), son constituyentes básicos para todos los organismos. En todos los casos, estos elementos son consumidos en la zona fótica y regenerados en toda la columna de agua, especialmente en el fondo, siendo transportados hacia arriba por mecanismos de difusión y /o advección (ver sección 4), y hacia abajo por sedimentación formando parte de organismos o de partículas detríticas orgánicas que sedimentan más o menos rápidamente según su textura.

Los restantes elementos menores acostumbran a formar materiales importantes en la constitución de la corteza terrestre pero cuya solubilidad en el agua de mar es relativamente baja. Por lo general, forman hidróxidos, carbonatos o sulfatos insolubles, aunque en el caso del manganeso, en ambientes reductores puede ser redisuelto dando lugar a un ciclo geoquímico muy particular.

4. 3. 3. Elementos trazas

La gran mayoría, por no decir todos, los elementos que existen en la naturaleza pueden ser hallados en forma de trazas en el agua de mar. Generalmente son muy poco solubles, aunque en algunos casos, se encuentran en proporciones mayores en el mar que en la tierra, si se les compara a los elementos mayores o menores, al tener la capacidad de formar complejos solubles con los iones Cl^- o F^-. En general, estos elementos pasarían desapercibidos a no ser porque algunos de ellos están relacionados con procesos originados por el hombre como es el caso de gran cantidad de elementos que tienen isótopos radioactivos o son

el resultado de cadenas radioactivas naturales o artificiales.

4.4.4. Contaminantes

Un gran número de elementos o substancias, tanto orgánicas como inorgánicas hoy en el agua del mar como consecuencia de la actividad humana. Algunos de entre ellos, especialmente los procedentes de síntesis orgánicas o de desintegraciones radioactivas pueden ser considerados genuinamente contaminantes por ser substancias extrañas al mar, pero en su mayor parte, son materiales normalmente hallados en el medio marino, fruto de procesos naturales, pero que se encuentran en cantidades fuera de lo común. No siempre estos materiales producen cambios notables en las características del medio o de los organismos, o son tóxicos para éstos o para el hombre, consumidor de dichos organismos. La existencia, sin embargo, en el medio o en los organismos marinos de elementos o substancias intrínsecamente nocivos para el hombre, para los organismos marinos o sus poblaciones y, en general para el ecosistema y los usos lícitos que el hombre hace de él, o en cantidades tales que existe un riesgo para todos estos componentes, recibe el nombre de polución.

4.4. DISTRIBUCION DE VARIABLES EN EL MAR

Un fluido continuo como es el mar está caracterizado, en cada punto del espacio que ocupa, por determinados valores que toman sus propiedades. La distribución espacial de cualquiera de estas propiedades se conoce como "campo". Según las características de la propiedad, el "campo" puede ser escalar o vectorial. En el océano existen campos escalares tales como el de la temperatura, presión o densidad, y campos vectoriales como el de la velocidad, el de la aceleración o el del gradiente de temperatura. La distribución de cualquier propiedad escalar en el mar está ligada a la existencia de corrientes. Supóngase una propiedad S, en función continua del tiempo y de las coordenadas espaciales.

$$S = f(t, x, y, z)$$

supóngase también que esta propiedad está ligada a las partículas individuales del fluido y que éste está en continuo movimiento. Al cabo de un tiempo dt, la partícula estará en una nueva posición x dx, y dy, z dz, donde la propiedad tiene un valor.

$$s \; dS = f(t+dt, \; x+dx, \; y+dy, \; z+dz)$$

El cambio producido en la partícula al desplazarse se puede definir como

$$dS = \frac{\partial S}{\partial t} dt + \frac{\partial S}{\partial x} dx + \frac{\partial S}{\partial y} dy + \frac{\partial S}{\partial z} dz$$

de donde, dividiendo por dt y considerando que dx/dt = u, dy/dt = v y dz/dt = w, las tres componentes del vector velocidad, se obtiene

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial x} u + \frac{\partial S}{\partial y} v + \frac{\partial S}{\partial z} w$$

es decir, la velocidad de cambio total en la partícula es igual a la suma de la velocidad de cambio local sumada a la "advección" o producto vectorial de la velocidad por el gradiente de la propiedad. Si la velocidad de cambio local es nula ($\partial S/\partial t = 0$), el campo es estacionario, es decir, en presencia de movimiento, no se

observaría cambio alguno en la distribución de la propiedad, si bien todos los procesos que tuvieren lugar en cada partícula de fluido quedarían compensados por la existencia de un gradiente.

Hasta aquí la discusión ha sido puramente formalista. Sin embargo, si se consideran los procesos que mantienen o tienden a alterar las distribuciones, pueden considerarse dos tipos: externos o que pueden modificar las propiedades sólo en las zonas límites del océano, o internos o que pueden modificarlas en cualquier lugar del fluido.

4.4.1. Propiedades conservativas.

Se entiende por variables conservativas. aquellas que, excepto en las zonas límite, son modificadas unicamente por procesos de advección y de difusión, lo que equivale a decir que la velocidad de cambio total en una partícula de fluido es igual al efecto de la difusión (dS/dt =difusión). Variables conservativas pueden ser la salinidad o el contenido calórico (temperatura)mientras que no conservativas lo serían el oxígeno o el nitrato.

En el agua en reposo las variaciones locales de concentración van disminuyendo como consecuencia de la difusión ,molecular, que tiene su papel a pequeña escala, está enmascarada por otro proceso mucho más activo, a escala mayor que se conoce como difusión turbulenta. Considerando el proceso de difusión turbulenta como un movimiento de pequeñas parcelas de agua a través de una superficie imaginaria cualquiera, con un desplazamiento resultante nulo pero con un transporte neto de substancias en la dirección equivalente a

$$F_s = A_l \frac{\partial S}{\partial l}$$

donde A_l es el coeficiente de difusión turbulenta (Austausch) en la dirección l. Si se considera un elemento de volumen de dimensiones dx. dy, dz, el flujo debido a la difusión turbulenta a través del plano (y, z) en x es $F_x(x)$ mientras que el flujo a través del mismo plano en x+dx es $F_x(x) + \frac{\partial F}{\partial x} dx$. Puesto que para un sentido creciente de x. un flujo es de entrada mientras que el otro es de salida del elemento de volumen, la diferencia neta de flujo será la ganacia del elemento de volumen, repartida en toda su longitud, es decir

$$\left(\frac{dS}{dt}\right) = \frac{F_x(x) \frac{\partial F_x}{\partial x} dx - F_x(x)}{dx} = \frac{\partial F_x}{\partial x} = \frac{\partial (A_x \partial S/\partial x)}{\partial x}$$

Cuando se aplica el mismo razonamiento a las otras dos direcciones del espacio, se obtiene

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\partial (A_x \partial S/\partial x)}{\partial x} + \frac{\partial (A_y \partial S/\partial y)}{\partial y} + \frac{\partial (A_z \partial S/\partial x)}{\partial z}$$

o, si se considera el coeficiente de difusión turbulenta constante en el espacio

$$\frac{ds}{dt} = A_x \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + Ay \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$$

y substituyendo ds/dt en la ecuación general de distribución de variables queda

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = A_x \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$$

ecuación general de la distribución de una variable conservativa, donde la velocidad del cambio local es igual a la diferencia entre el cambio producido por la difusión menos el cambio producido por la advección. En particular cuando ambos procesos se compensan, la distribucción se encuentra en estado estacionario.

4.4.2. Propiedades no conservativas.

Se entiende por propiedades no conservativas aquellas que, aparte estar controladas por los procesos de advección y difusión están sujetas a otros procesos que pueden ser de tipo biológico, geoquímico, etc... Un caso notorio de este tipo de comportamiento es el del oxígeno disuelto en el agua del mar que, aparte estar sujeto en la zona limítrofe con la atmósfera, al intercambio con ésta, se encuentra bajo los efectos, en la zona fótica, de la actividad fotosintetizadora y en toda la columna, hasta el fondo, a la actividad respiratoria de los diversos organismos y la oxidación de materiales orgánicos detríticos.

La ecuación general de la distribucción de una variable no conservativa en el mar es :

$$\frac{dS}{dt} = \text{difusión} + R$$

estando representados en R todos los procesos que tienen lugar en la masa de agua y que no son ni difusión ni advección. La variedad de procesos que pueden producirse en el mar hace totalmente inútil tratar de discutirlos aquí, aunque a título de ejemplo se puede tratar del caso del oxígeno.

Si R es la suma algebraica de las velocidades de formación y de consumo de oxígeno por los distintos procesos y se considera que estas velocidades de formación y de consumo, es decir de fotosíntesis y de respiración son proporcionales a la concentración de organismos que respiran o que fotosintetizan, se puede decir

$$R = p\,F - (r_1\,F + r_2\,Z + r_3\,P)$$

donde F sería la concentración de organismos fitoplanctónicos, Z la de organismos zooplanctónicos y P la de peces p sería la tasa de producción fotosintética y r_1 la de respiración correspondiente a cada uno de los tres grupos de organismos citados. El signo + del primer término alude al carácter productivo de este factor mientras que el signo - de los otros tres términos aluden al carácter consuntivo de los términos correspondientes.

Es evidente que si tuviese que completarse el modelo de distribucción del oxígeno, sobre la base de la ecuación general de distribucción de variables no conservativas y de la expresión anterior, deberían asímismo darse las distribucciones de F, de Z y de P, pero también la variación de p con la intensidad de luz, capaz de penetrar a los distintos niveles, así como determinadas relaciones de las tasas r_1 con la temperatura y tal vez con la presión, etc...

4.4.3. Equilibrio dinámico

Al considerar las diversas variables en el mar se observa que las variaciones que se producen por efecto de las estaciones o de la existencia del día y la noche, o de otros factores externos, tienen una cierta periodicidad sin que afecten en gran manera a los valores promediados en un plazo de tiempo más largo. Las tendencias a largo término acostumbran a ser muy pequeñas, de aquí que se pueda decir que el mar se encuentra en estado casi estacionario, aunque determinadas variables, especialmente las que están fuerte -

mente afectadas por las actividades humanas. pueden llegar a mostrar cambios importantes en el espacio de algunos años.

Cuando se trata de variables conservativas, en estado casi estacionario, los efectos externos que se hacen notar sobre todo en la zona superficial, tienden a ser anulados por los procesos de difusión y de advección de aquí que a una determinada profundidad tales efectos prácticamente desaparecen. No ocurre lo mismo con las variables no conservativas ya que los procesos biológicos o geoquímicos pueden tener lugar en toda la masa del océano y aun presentar mayor intensidad en las zonas más profundas.

En el mar, las variables observadas pueden aparecer constantes cuando en realidad los procesos que tienen lugar son muy activos, ya que la observación en un lugar determinado (coordenadas eulerianas) puede dar idea de los cambios locales $\partial s/\partial t$ que, como se ha visto anteriormente, son sólo un componente de los cambios que se pueden producir en el seno de una parcela de agua. Cuando los cambios locales son nulos, todos los procesos de advección, difusión así como los biológicos, etc., se encuentran en "equilibrio dinámico" o estado estacionario. Si, en cambio, la observación se efectúa siguiendo la parcela de agua convenientemente identificada (coordenadas lagrangianas), la observación en un momento determinado del cambio experimentado por la propiedad ds/dt, equivale a la suma del cambio local y la advección y, en general aun para un mar estacionario, no debería ser nulo.

4. 5. PROCESOS HIDRODINAMICOS

Las fuerzas que actúan sobre un fluido pueden ser externas o internas. Entre las primeras, el mar está sometido a fuerzas gravitatorias y de atracción por el Sol y la Luna, así como a la tensión ejercida en su superficie por el viento. Entre las fuerzas internas se cuenta el gradiente de presión debido a la distribución interna de masas y a la elevación de la superficie libre. Los fluidos están también sometidos a fuerzas viscosas que tienden a causar una disminución de las diferencias de velocidad y, en el caso del mar, por su dimensión planetaria, a una fuerza virtual, la de Coriolis, debida al hecho de hallarse en un sistema de coordenadas giratorio que deben ser tenidas en cuenta al formular las ecuaciones hidrodinámicas.

Principio de continuidad

Una de las condiciones que deben cumplirse al formular las ecuaciones hidrodinámicas, es el principio de continuidad, normalmente expresado como la imposibilidad de crear o destruir masa en un elemento de volumen. Ello significa que para tal elemento de dimensiones dx, dy, dz, la masa que entra por una de sus caras (normal a x por ejemplo) en un elemento de tiempo dt, siendo u la velocidad en su punto central es (ρu) dy dz dt. La masa que sale por la cara opuesta es, analogamente $\rho u + [\partial(\rho u)/\partial x \; dx] \cdot dy \cdot dz \cdot dt$, por lo que la masa neta que queda en el interior es $-[\partial(\rho u)/\partial x \; dx] \cdot dy \cdot dz \cdot dt$. Si consideramos los otros dos pares de caras, el incremento total de masa será

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx\, dy\, dz\, dt + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dx\, dy\, dz\, dt + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} dx\, dy\, dz\, dt = -$$

que, dividido por el volumen del elemento (dx dy dz) y por el intervalo de tiempo dt, queda

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Cuando el movimiento del fluido tiene lugar sin cambios importantes de densidad, lo que no acostumbra ser cierto con el agua aunque puede ser aceptado en numerosos casos como una primera aproximación, resulta

$$\nabla . \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

que es la fórmula usual para la ecuación de continuidad para un líquido incompresible.

Ecuaciones de la hidrodinámica

En su forma más completa, las ecuaciones de la hidrodinámica corresponden al movimiento de un fluido - comoresible sobre un marco de referencia giratorio, expresado en coordenadas cartesianas eulerianas, con la z positiva hacia arriba y sometido a fuerzas internas y externas:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} - 2\omega(\operatorname{sen}\phi\, v - \cos\phi\, w) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + F_x + D_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} + 2\omega \operatorname{sen}\phi\, u = -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial y} + F_y + D_y$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} - 2\omega\cos\phi\, u = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} - g + F_z + D_z$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

donde u, v y w son los componentes de la velocidad en las tres direcciones x, y, z; ω es la velocidad angular de la tierra, ϕ la latitud, p la presión total, F las aceleraciones debidas a las fuerzas externas que actúan sobre el fluido en la dirección indicada y D las fuerzas internas que actúan sobre el fluido en el sentido de disipar el movimiento. Las más importantes de estas fuerzas internas son las de la fricción y tienden a igualar las velocidades de capas adyacentes debido a la existencia de tensiones de deslizamiento. A nivel molecular estas fuerzas han sido definidas por términos que incluyen el coeficiente de viscosidad del tipo

$R = \mu\, d^2 v/dz^2$

La introducción de estos términos en las ecuaciones de la hidrodinámica conduce a las ecuaciones de Navier-Stokes substituyendo en el sistema general las igualdades

$$R_x = 1/3\ \mu\frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu\nabla^2 u$$

$$R_y = 1/3\ \mu\frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu\nabla^2 v$$

$$R_z = 1/3\ \mu\frac{\partial \theta}{\partial z} + \mu\nabla^2 w$$

donde $\theta = \operatorname{div} V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$ y $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

Sin embargo la fricción molecular en el mar desempeña un papel mínimo en comparación al intervambio turbulento de momento. Si una parcela de agua en su movimiento se encuentra en un lugar al que le corresponde una menor velocidad, pierde momento, si por el contrario llega a un lugar de mayor velocidad, lo gana. El

transporte de momento (masa por velocidad) a través de superficies normales al gradiente es la principal consecuencia de la turbulencia. Por analogía con el coeficiente de viscosidad molecular, en el caso turbulento se acostumbra usar la siguiente notación

$$R_x = \frac{\partial}{\partial z}\left(A_z \frac{\partial u}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(A_y \frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

$$R_y = \frac{\partial}{\partial x}\left(A_x \frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(A_z \frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

$$R_z = \frac{\partial}{\partial x}\left(A_x \frac{\partial w}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(A_y \frac{\partial w}{\partial y}\right)$$

aunque, a menudo, se considera que la turbulencia horizontal puede ser ignorada, con lo que las anteriores expresiones se reducen a

$$R_x = \frac{\partial}{\partial z}\left(A \frac{\partial u}{\partial z}\right) ; \quad R_y = \frac{\partial}{\partial z}\left(A \frac{\partial w}{\partial z}\right) \quad y \quad R_z = 0$$

La solución de las ecuaciones de la hidrodinámica es sumamente difícil. En general, sólo simplificaciones del sistema pueden ser resueltas. Un caso particular es el del flujo acelerado en ausencia de fricción que da lugar a las llamadas corrientes de inercia. Su solución viene dada por el sistema

$$\frac{du}{dt} = 2\omega \operatorname{sen} \phi \; v$$

$$\frac{dv}{dt} = -2\omega \operatorname{sen} \phi \; u$$

que indica que la aceleración de una partícula de agua es compensada por la aceleración de Coriolis. Se puede fácilmente demostrar que, en estas circunstancias, cada partícula de agua se mueve con velocidad constante describiendo círculos cuyo radio depende de la velocidad y de la latitud y cuyo período de oscilación es de medio día pendular, dependiendo de la latitud (12 horas en el polo, 24 horas a 30° de latitud, etc.).

Otro caso es el de las corrientes geostróficas. Se puede también demostrar que, para un fluido sin fricción y sin acciones externas y no acelerado, las ecuaciones anteriores se simplifican a

$$2\omega \operatorname{sen} \phi \; v = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$2\omega \operatorname{sen} \phi \; u = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$g = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} = 0$$

El movimiento horizontal tiene lugar en ángulo recto al gradiente horizontal de presión (flujo geostrófico) y por lo tanto la corriente sigue las isóbaras de modo que en el hemisferio norte la alta presión queda a la derecha de la corriente.

Por su parte el gradiente de presión puede estar generado por dos factores, en principio independientes, que son las diferencias locales en la distribución de masa en el interior del fluido o las diferencias locales en la elevación del nivel del mar y/o en presión atmosférica. Las corrientes generadas por el primer factor reci-

ben el nombre de corriente relativa o componente baroclínica de la corriente, mientras que las corrientes generadas por el segundo factor se llaman corrientes de pendiente o componente barotrópica de la corriente. La componente baroclínica varía con la profundidad y puede ser determinada a partir de las observaciones de densidad (método usual para el cálculo de corrientes). Por el contrario la componente barotrópica no puede ser determinada por observaciones del cambio relativo de nivel del mar, por ser estas observaciones difíciles de llevar a cabo. Sí es posible, sin embargo, al medir directamente las corrientes en distintos niveles de una misma localidad, determinar cuáles son los valores de las dos componentes.

Puede decirse que, en general la solución de las ecuaciones de la hidrodinámica no es factible ni aun utilizando nuevas técnicas de integración por medio de computadores electrónicos. El análisis detallado de un sistema particular permite, por lo general, reducir las ecuaciones generales a otras mucho más simples. Es preciso entonces establecer las condiciones de contorno y las escalas de tiempo propias de cada uno de los términos mantenidos en las ecuaciones, con lo que se pueden conseguir resultados muy prometedores en el modelado del sistema marino especialmente en determinadas zonas costeras con fuertes influencias externas como puede ser el viento en áreas de afloramiento. Es ésta una importante línea de actuación en el terreno de la Oceanografía Física.

BIBLIOGRAFIA

FOFONOFF N. P. 1969. Physical Properties of Sea-Water. En "The Sea". M. N. Hill (editor). Interscience Publishers. New York 864 pp.

GASCARD J.-C. 1970. Calcul de la Salinité et de la Densité de l' eau de mer a partir de mesures "in situ" de température conductivité électrique et pressión. Cahiers Océanographiques, XXII (3), 239-257.

HORNE. R. A. 1969. Marine Chemistry. Wiley- Interscience, New York, 568 pp.

NEUMANN. G. and Pierson, W. J. 1966. Principles of Physical Oceanography. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 545 pp.

ROSS D. A. 1977. Introduction to Oceanography. Prentice-Hall Inc., London, 438 pp.

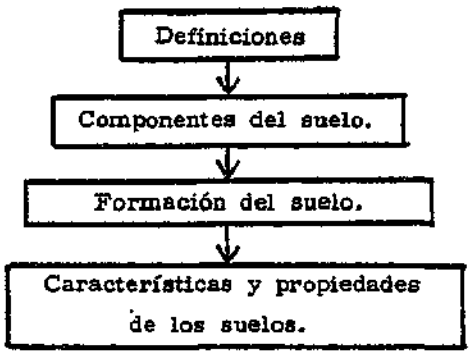
SVERDRUP. H. U., Johnson. M. W. and Fleming, R. H. 1943. The Oceans: their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1087.

5.1. INTRODUCCION

En las páginas siguientes se intentan sistematizar sucintamente los aspectos principales del suelo, considerado éste como elemento del medio físico receptor de las actividades humanas y de sus efectos.

No puede pretenderse ser exhaustivo utilizando tan apretado número de páginas, pero sí se intenta dar una visión esquemática acerca de qué es el suelo, cuáles son sus elementos constituyentes y porqué de sus características y propiedades pueden derivarse consecuencias para una utilización del suelo que evite su deterioro, degradación o contaminación irreversibles.

Para ello se ha ajustado un proceso descriptivo secuencial en el que cada etapa sucesiva maneja conceptos fundamentales ya enunciados:



5.2. DEFINICIONES

Desde un punto de vista puramente edafológico el suelo es la parte sólida más externa de la corteza terrestre, que ha sufrido y sigue sufriendo acciones causadas por agentes atmosféricos y seres vivos, y sirve de soporte a la vegetación (NICOLAS, 1968). Configura así un medio complejo dinámico, transición entre el aire, agua y seres vivos de la superficie y la roca subyacente, caracterizado por una atmósfera interna, una particular utilización del agua, una flora y fauna determinadas y unos constituyentes minerales y organo-minerales (GANDULLO, 1962; MARSH, 1978).

Este tipo de definiciones son adoptadas tambien por agrónomos y forestales, es decir por aquéllos que se interesan por el suelo como soporte y fuente de nutrientes para unos cultivos o unas masas forestales. Por ello, incluyen en la definición a los elementos que son necesarios para el desarrollo y mantenimiento de una cubierta vegetal: el suelo es la parte superior del regolito, compuesta por la materia mineral originada por la alteración de la roca madre, de la materia orgánica viva y muerta procedente del desarrollo de los procesos biológicos, condicionada por una cierta humedad y que contiene materia orgánica y mineral en estados coloidal y disuelto, así como un determinado volúmen de aire (WAY, 1973).

Para geólogos e ingenieros, por ejemplo, el suelo es algo más amplio, que no se limita al espesor afectado por las raices de las plantas, por los microorganismos edáficos o por las influencias y efectos de ellos. El suelo es ahora el soporte de unas actividades constructivas, la base de una red de autopistas o el enclave donde se incluye un sistema de fosas sépticas, por ejemplo. En este sentido

el suelo está compuesto por todos los materiales no consolidados, metorizados o alterados de su condición original y situados sobre un lecho rocoso duro y consolidado. Según WAY, 1973, esta definición incluye el material de los edafólogos, pero añade materiales estériles o no soportantes de vida, tales cómo rocas disgregadas o fracturadas, cenizas volcánicas, aluviones, coluviones, depósitos eólicos, depósitos glaciares, o cualquier otro material, formado "in situ" o transportado, proveniente de la meteorización, alteración de naturaleza física o alteración química de un material rocoso inicialmente consolidado.

Hay razones muy importantes para la consideración del suelo como factor ambiental receptor de influencias de la actuación humana.

En primer lugar el suelo es soporte de las actividades del hombre dirigidas al aprovechamiento de su potencial productivo: cultivos agícolas, regadíos, repoblaciones, aprovechamientos forestales y tratamientos selvícolas, implantación de pastizales y pastóreo, etc. En este tipo de utilizaciones el concepto de suelo y sus características importantes son los descritos antes como de interés para edafólogos, agrónomos y forestales. Es el suelo como soporte y fuente de nutrientes para una cubierta vegetal. Del elemento suelo surge una faceta para el estudio del medio físico que se concreta en su productividad o fertilidad. La productividad del suelo es un aspecto complejo, que integra características y propiedades del suelo, "sensu stricto", con prácticas culturales y con características y propiedades de otros elementos ambientales (vegetación, litología, pendiente,...), mutuamente interrelacionados.

En segundo lugar es soporte de actividades constructivas, industriales y técnicas de muy diversa índole: urbanización, cimentaciones, servicios públicos (carreteras y autopistas, ferrocarriles, aeropuertos, líneas eléctricas), sistemas de depuración de resíduos líquidos, sistemas de depuración de resíduos sólidos, construcción de canales, sistemas de dragados y drenajes, desagües, excavaciones, desmontes y terraplenes, construcción de embalses, sistemas dirigidos al afloramiento de aguas, etc. El técnico y el planificador de este tipo de actuaciones dirige su atención al suelo, "sensu lato", de geólogos e ingenieros, al material superficial no consolidado del regolito, dotado de unas características y propiedades que le suministran mayor o menor aptitud para tales usos: capacidad portante, erosionabilidad, estabilidad, permeabilidad, facilidad de drenaje, cohesión, compresibilidad, etc.

El suelo es asímismo fuente de materiales para un sinnúmero de actividades humanas (material de construcción, arenas, gravas), bien a partir de sus elementos texturales componentes, bien si los procesos de formación del suelo han permitido la acumulación selectiva de ciertos materiales (turbas, minerales de hierro, minerales de aluminio...)

Este amplio abanico de posibilidades de actuación en los que el suelo aparece como factor limitante y decisorio, justifica sobradamente su consideración en cualquier plan de asignación de usos o en cualquier estudio territorial en el que aquellas actividades entren en juego.

En una segunda vía significativa, vía de los efectos de las actuaciones sobre el medio, el suelo se erige asímismo como receptor fundamental de impactos. Estos impactos pueden ejercerse en múltiples facetas, que sólo en casos muy aislados pueden interpretarse separadamente, sobre las características y potencialidades del suelo: erosión del suelo, empobrecimiento de su fertilidad, degradación biológica, contaminación, compactación, pérdida irreversible por recubrimientos artificiales, etc, son claros ejemplos del problema.

5.3. COMPONENTES DEL SUELO

El suelo es un medio dinámico en el que pueden distinguirse unos elementos constitutivos, en íntima relación y mutuamente influenciados. Estos elementos constitutivos fundamentales son: aire, agua, elementos minerales, materia orgánica no viva y la flora y fauna edáficas.

La atmósfera del suelo.

El aire del suelo tiene un contenido en anhídrido carbónico superior al del aire atmosférico; su contenido en oxígeno es inferior, y en nitrógeno similar. Estas diferencias provienen de la respiración de las raíces, de los microorganismos y de los demás seres vivos habitantes del suelo (lo que supone consumo de oxígeno y desprendimiento de anhídrido carbónico), junto con la propia estructura del suelo, poros y cavidades en disposición caótica y a veces no conexionada, que dificulta la difusión a la atmósfera exterior. Esta composición varía de unas partes a otras del suelo.

El aire del suelo mantiene competencia con el agua para ocupar los vacíos o poros del medio edáfico y esta alternancia, épocas secas o húmedas, favorece la renovación del aire del suelo y la heterogeneidad de su composición.

El agua del suelo.

El agua del suelo determina muchas de sus aptitudes para su aprovechamiento (disponibilidad de agua para las plantas, captaciones) y muchas de sus características de vulnerabilidad ante las actividades humanas (contaminación de acuíferos, propensión a deslizamientos, etc).

Fundamentalmente se distinguen en el suelo las siguientes clases de agua:

- Agua estructural; contenida en la estructura de los minerales que componen las partículas del suelo (silicatos hidratados, óxidos hidratados...). Este agua solamente se libera en procesos edáficos tales como hidrólisis de arcilla y similares.

- Agua higroscópica; es agua inmovil, sólo removida por calentamiento del suelo o prolongada sequía, fuertemente retenida por fuerzas electroquímicas de adhesión a las partículas coloidales.

- Agua capilar; es agua retenida en los poros de pequeño tamaño, capilares, por fuerzas de capilaridad. El agua de los capilares mayores puede percolar sólo muy lentamente a través del suelo, y se admite que no puede drenar fuera del perfil edáfico.

- Agua gravitacional; que ocupa los macroporos del suelo y drena por la fuerza de la gravedad.

El tamaño de poros que condiciona cada una de estas clases queda reflejado en la tabla siguiente.

Los elementos minerales.

Los elementos minerales del suelo proceden esencialmente de la fragmentación y alteración de la roca madre, aunque parte de ellos puedan tener su origen en aportes. Estos elementos minerales, por tanto, poseen una variada composición, según el suelo de que se trate: silicatos complejos (feldespatos, piroxenos...), cuarzo, carbonatos (caliza,...), etc.

Clase de agua	Diámetro de los poros	Diámetro de las partículas que conforman los poros
Agua higroscópica	No rellena poros	
Agua capilar	$\phi < 0,008$ mm	$\phi < 0,050$ mm (limo y arcilla fundamentalmente)
Agua gravitacional de evacuación lenta.	$0,008 < \phi < 0,050$ mm	$0,050 < \phi < 0,200$ mm (arena fina)
Agua gravitacional de evacuación rápida.	$\phi > 0,50$ mm	$\phi > 0,200$ mm

La continua fragmentación y alteración de la roca madre, y el desarrollo de los agentes erosivos y de desgaste a lo largo del tiempo, conducen a que los elementos del suelo se presenten en partículas de muy diversos tamaños: gravas, arenas y limos constituyen la fracción gruesa del suelo; las arcillas (partículas de diámetro inferior a 2 μ) la fracción fina.

Los elementos de la fracción gruesa del suelo no son químicamente activos, generalmente no solubles y no utilizados directamente por las plantas. Representan, sin embargo, la reserva mineral del suelo, pues su progresica descomposición alimentará la fracción activa del suelo.

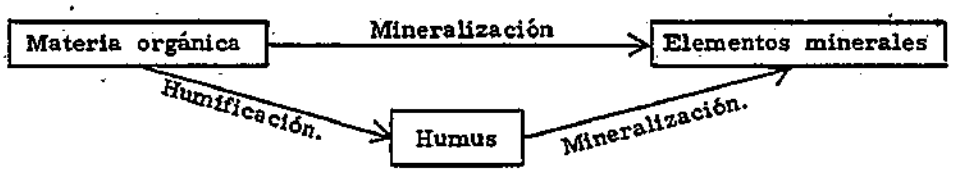
La fracción fina, llamada complejo de alteración, formada por las partículas finas del suelo, representa algo más que un soporte inerte o una reserva. Estas partículas, debido a su tamaño y composición, gozan de propiedades coloidales y proporcionan al suelo muchas de sus propiedades físico-químicas: constituyen el cemento de los agregados del suelo, influyendo en su estructura y, por tanto, en la cantidad y movilidad del aire y agua del suelo; adsorben sustancias y elementos minerales en la superficie de las micelas coloidales, almacenando reservas nutritivas, etc.

La materia orgánica.

La materia orgánica del suelo procede, esencialmente, de la descomposición, biológica de modo prioritario, de resíduos vegetales y animales.

El proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo conduce finalmente a la liberación de elementos minerales solubles o gaseosos, aunque este proceso de mineralización tiene, en muchos casos, una ralentización con la formación del humus.

El humus formado por complejos orgánicos u organo-minerales coloidales, constituye una etapa intermedia en la descomposición de la materia orgánica del suelo.



La humificación, proceso en el que no solamente puede observarse una detención en la demolición sino incluso algunas etapas de reelaboración, da lugar a compuestos, el citado humus coloidal, que final y fatalmente se mineralizan, aunque mucho más lentamente que si de una mineralización directa de la materia orgánica fresca se tratara.

En el suelo, por tanto, siempre se encontrará:

- Materia orgánica fresca (resíduos en los que todavía se patentiza la estructura del material original).

- Productos intermedios orgánicos (por ejemplo, la lignina liberada por la descomposición de la celulosa).

- Productos húmicos, humus, complejos coloidales orgánicos.

- Compuestos minerales o prácticamente ya mineralizados, solubles o gaseosos.

Los coloides del suelo.

El complejo de alteración (fracción mineral fina) y el humus constituyen los coloides del suelo o complejo adsorbente del suelo. Sus micelas están afectadas por cargas eléctricas superficiales y según la naturaleza de estas cargas pueden distinguirse:

- Coloides electropositivos del suelo, cargados positivamente y con comportamiento de bases débiles. Floculan en medio básico y se dispersan en medio ácido. Constituidos fundamentalmente por sexquióxidos o hidratos de hierro y de aluminio.

- Coloides electronegativos del suelo, cargados negativamente y con comportamiento de ácidos débiles. Floculan en medio ácido y se dispersan en medio alcalino. Son los más abundantes en el suelo: arcillas, compuestos húmicos, complejos ferro y ferrisilíceos, complejos ferro y ferribúmicos.

La carga eléctrica superficial de las micelas coloidales mantendrá adsorbidos en dicha superficie a los cationes en el caso de los coloides electronegativos y a los aniones en el caso de los coloides electropositivos. En aquéllos, mayoritarios en el suelo, estas cargas retenidas pueden estar constituidas por hidrogeniones (H^+) o por cationes metálicos (Ca^{++}, Mg^{++}, K^+; Na^+, NH_4^+, Mn^{++}, Cu^{++}, - Zn^{++},...), fundamentalmente.

Estos iones retenidos en la superficie de las micelas coloidales son intercambiables con los iones existentes en la solución del suelo, de modo que existe siempre un equilibrio dinámico entre los iones retenidos en el complejo adsorbente y los iones de la solución del suelo.

El intercambio iónico es un proceso fundamental en cuanto a las propiedades del suelo: los cationes retenidos en las micelas pasan a la solución del suelo, de donde pueden ser absorbidos por las plantas. Pero igualmente pueden quedar retenidos en las micelas coloidales, y entrar en el juego del intercambio catiónico, cationes que lleguen a la solución del suelo a través de algún agente de contaminación.

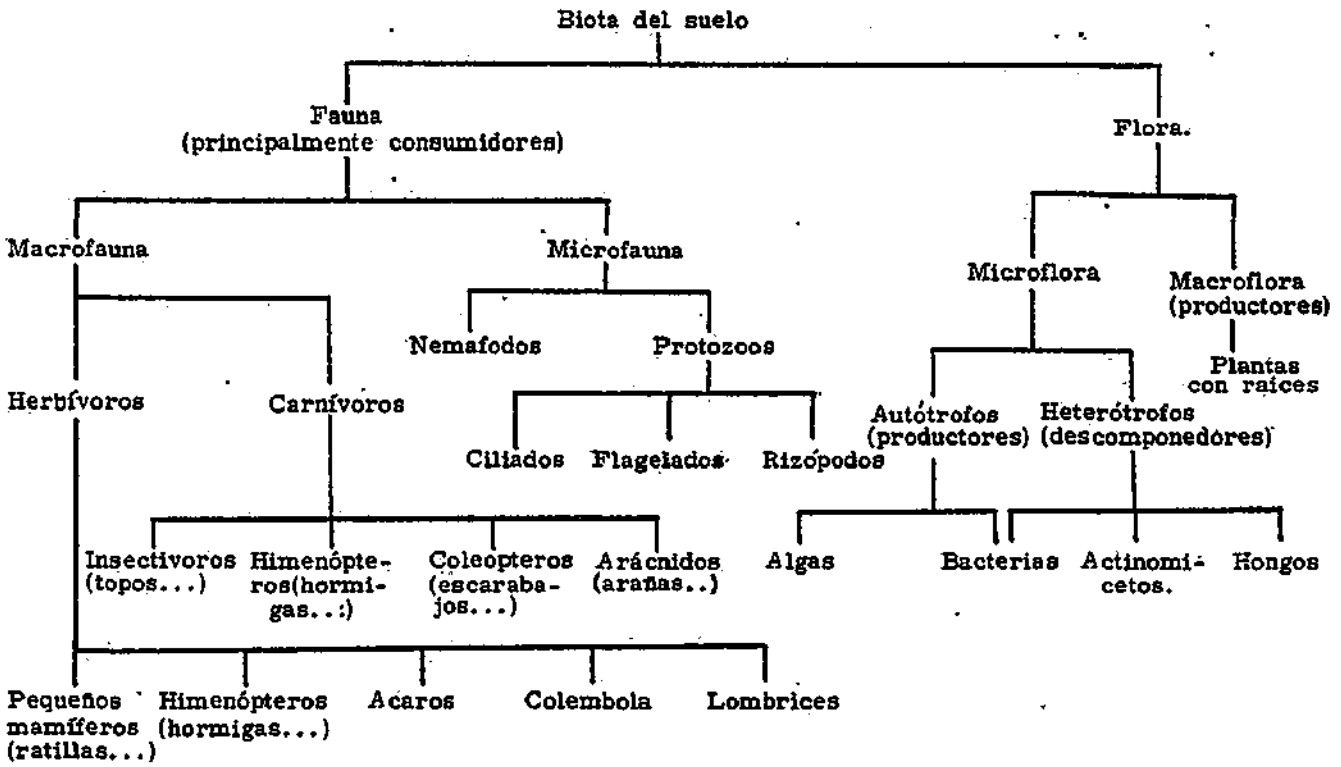
Si en un suelo la mayor parte de los iones retenidos en el complejo adsorbente son hidrogeniones, H^+, se considera que tal complejo está insaturado. Cuando la mayoría de los iones adsorbidos son

cationes metálicos, el complejo adsorbente se considera saturado. La capacidad total de cambio T se define como la cantidad máxima de cationes metálicos que un suelo puede retener en su complejo adsorbente. El tanto de saturación, V, del complejo adsorbente de un suelo se expresa por $V = \frac{100\ S}{T}$, donde S es la cantidad de los cationes metálicos adsorbidos (Suma de cationes metálicos intercambiables.

La flora y fauna del suelo.

Los componentes bióticos del suelo son extremadamente variados, y en ellos pueden identificarse todos los eslabones de las cadenas tróficas de un ecosistema: productores autotróficos de materia, fundamentalmente a partir de la fijación de la energía radiante del sol, consumidores de materia orgánica que digieren internamente, y descomponedores de materia orgánica a través de la producción de enzimas que destruyen aquélla en productos de descomposición.

En un intento de esquematizar tan amplia gama de elementos pudiera ofrecerse la siguiente clasificación de sus principales componentes:



5.4. LA FORMACION DEL SUELO

Los factores principales de formación del suelo son la roca madre (bien de formación "in situ", bien transportada), el clima, la vegetación, la fisiografía y el paso del tiempo.

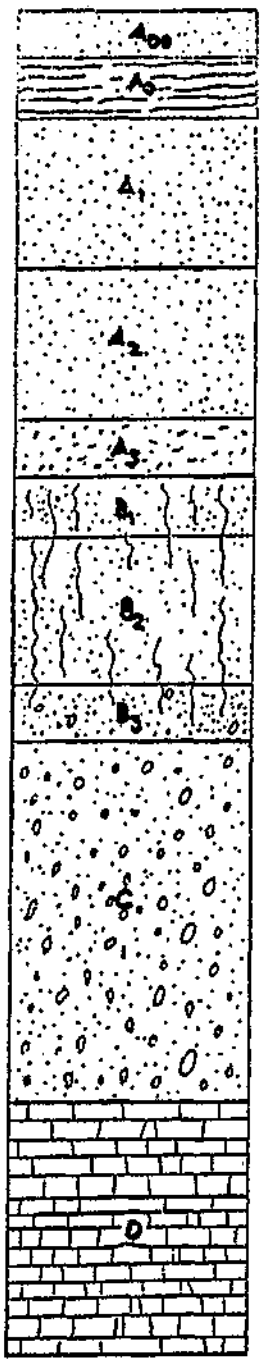
NICOLAS, 1968, distingue dos grupos de elementos formadores del suelo:

- Factores pasivos, o factores geológicos, geográficos, de hidrología subterránea y de actuación humana. Son la roca madre, la salinidad, el relieve, la exposición, el régimen hídrico subterráneo, las acciones del hombre y de sus ganados, etc.

- Factores activos, o factores externos. Son el clima y la vegetación.

La interrelación entre estos elementos y el suelo no puede en ningún momento perderse de vista, pues un cambio producido por el hombre, en cualquiera de ellos, modificará el suelo y puede crear uno de características y cualidades diferentes, y por tanto de distinta potencialidad.

La acción de los factores de formación del suelo produce la diferenciación de capas horizontales de distinta composición (Figura 4.5.1.): son los denominados horizontes del suelo. El perfil del suelo está constituído por la sección vertical de sus distintos horizontes.



Desechos orgánicos dispersos.

Materia orgánica parcialmente descompuesta.

Usualmente en bosque; no en praderas.

Horizonte de color oscuro con alto contenido de materia orgánica mezclada con materia mineral.

Horizonte de color claro con máxima eluviación prominente en suelos podzólicos y débil en los chernozems.

Transición a B, más como A que B.

Transición a B, más como B que A.

Comunmente en perfiles bien desarrollados.

Horizontes de máxima acumulación de materiales en suspensión o de arcillas; máximo desarrollo de estructuras en bloques o prismáticas, o ambas.

Transición a C.

Roca madre meteorizada; incluye capas de CO_3Ca acumulado o de SO_4Ca cementado en algunos suelos.
Ocasionalmente ausente; por ejemplo la construcción del suelo sigue tan rápido a la meteorización que no se encuentra material meteorizado entre B y D.

Roca dura o cualquier estrato subyacente que tenga significación, pero que no forme parte del material parental.

Figura 4.5.1.: Un perfil hipotético de suelo que muestra los principales tipos de horizonte. Ningún suelo tiene este perfil completo (Según YEARBOOK of AGRICULTURE, 1957).

Esta acción de los factores de formación del suelo se aplica a través de una serie de transformaciones, de naturaleza física y química, y a muy distintas velocidades, dependiendo de las condiciones ambientales de cada lugar. Estas transformaciones, denominadas procesos de formación del suelo, se resumen en la Tabla siguiente:

Procesos físicos y químicos de la formación del suelo.

Alteración mineral:

- Física (meteorización física y alteración biológica de naturaleza física).
  . Fragmentación (oscilación térmica, heladas, viento, precipitaciones, corrientes, cambios de volúmen por procesos físico-químicos, raíces...)
  . Compactación (precipitaciones, tramas de raíces, hombre y animales...)
- Química (meteorización química y alteración biológica de naturaleza química).
  . Oxidación-reducción.
  . Hidratación-deshidratación.
  . Disolución-cristalización.
  . Dispersión-coagulación.
  . Carbonatación-descarbonatación
  . Permutación de cationes en las micelas
  . Bicarbonatación-desbicarbonatación.
  . Hidrólisis y recombinación.

Evolución de la materia orgánica:

- Mull
- Mor
- Moder
- Turba
- Anmor.

Migraciones (eluviación e iluviación) de partículas:

- Descendentes
- Ascendentes
- Oblicuas
- Disolución
- De tamaño coloidal (levigación)
- De tamaño superior (erosión interna)

Procesos resultantes de la actuación conjunta de la evolución mineral y orgánica y de las migraciones:

- Calcimorfización
- Rubefacción
- Braunificación
- Levigación
- Podsolización
- Ferralitización
- Salinización
- Solonización
- Jaspeado de hidromorfía (Gleyzación)
- Carbonización

(NICOLAS, 1968)

5.5. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Características físicas.

- Profundidad

Se expresa por el espesor en cm. del suelo, hasta el lecho de roca en unos casos o hasta el estrato u horizonte cementado en otros. De esta característica depende en gran medida el desarrollo de las plantas, ya que condiciona el desarrollo radical y el volumen de agua disponible para la vegetación. Asímismo es un condicionante para determinadas actividades de ingeniería a desarrollar sobre el suelo.

Este tipo de condicionantes ha sido expresado por MARSH, 1978, de la forma siguiente:

Adecuación de los suelos para actividades de ingeniería
(Construcción, carreteras,...)

	Características del suelo			
	Drenaje	Composición	Pendiente	Profundidad
Adecuados	Bien drenados (capa freática profunda).	No orgánicos	Menor del 8%	Mayor de 90-120 cm.
No adecuados	Pobremente drenados (capa freática a 30 cm o menos de la superficie)	Orgánicos	Mayor del 8%	Menor de 60-90 cm.

STORIE, 1970, ha propuesto la siguiente clasificación de la profundidad del suelo:

		Clase
0 - 30 cm.	Muy poco profundo	1
30 - 60 cm.	Somero	2
60 - 90 cm.	Moderadamente profundo.	3
90 - 120 cm.	Profundo	4
> 120 cm.	Muy profundo.	5

- Porosidad

La porosidad del suelo se refiere al volúmen ocupado por los poros en aquél, y por ello está inversamente relacionada con la densidad del suelo. Suele expresarse por la relación entre el volúmen ocupado por gases y líquidos y el volúmen total del suelo.

El tamaño de los poros depende del tamaño de las partículas del suelo y del tamaño de los agregados de partículas. Se formarán poros de pequeño diámetro por la imperfecta unión entre las partículas, y poros de mayor diámetro entre los agregados edáficos.

BRIGGS, 1977, da la siguiente clasificación de la porosidad del suelo:

Abundancia de poros	
Número de poros/100 cm^2 de suelo	
Rara	5
Escasa	5 - 10
Normal	10 - 100
Abundante	100

Tamaño de los poros	
	Diámetro (mm)
Muy fino	< 0,5
Fino	0,5 - 1
Medio	1 - 3
Grande	3 - 5
Muy grande	> 5

La abundancia y tamaño de los poros regula la aireación y el movimiento del agua del suelo. Proporciona asímismo espacio para el crecimiento de las raíces (se ha señalado un diámetro mínimo de 0,3 mm. para que la raíz pueda penetrar), y para la instalación de organismos edáficos.

La porosidad del suelo está en estrecha relación con la textura y con la estructura del suelo, y por tanto influencia muchas de sus propiedades físicas: por ejemplo, una compresión del suelo provocará un aumento del número de poros de pequeño tamaño en relación con los grandes, disminuirá la capacidad de drenaje y puede producir el anegamiento del suelo.

- Textura

La textura de un suelo viene expresada por la distribución del tamaño de las partículas sólidas que componen el suelo, en otras palabras, por la composición granulométrica del suelo, previa dispersión de sus agregados.

La textura traduce el tacto de un suelo en cuanto a aspereza, suavidad, cohesión, compactación, etc, cuando con un suficiente grado de humedad, se le moldea entre los dedos.

La textura del suelo determina directamente muchas de sus propiedades, hasta el punto de que su conocimiento puede permitir estimaciones de su capacidad productiva o de su comportamiento mecánico, ya que permite la estimación general, por ejemplo, de la magnitud del complejo adsorbente, capacidad de retención de agua, capacidad portante, susceptibilidad a la expansión a causa del hielo, etc.

Son muchos los sistemas de clasificaciones texturales utilizados. Todos ellos se basan en el contenido del suelo en partículas de distintos tamaños (éste medido por el diámetro), que, de forma generalmente aceptada, toman la denominación de arcillas, limos, arenas, gravillas, gravas, de menor a mayor.

Las principales escalas granulométricas utilizadas y su correspondencia aparecen en la tabla 4.5.1.

En 1951, en el Soil Survey Manual, El U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE propuso la clasificación textural que se indica en el Gráfico triangular de la Figura 4.5.2. Esta clasificación textural ha sido ampliamente aceptada; de ahí el interés de su reproducción.

La clasificación admite la consideración de distintos niveles de detalle que pueden esquematizarse según se indica en la Tabla 4.5.2.

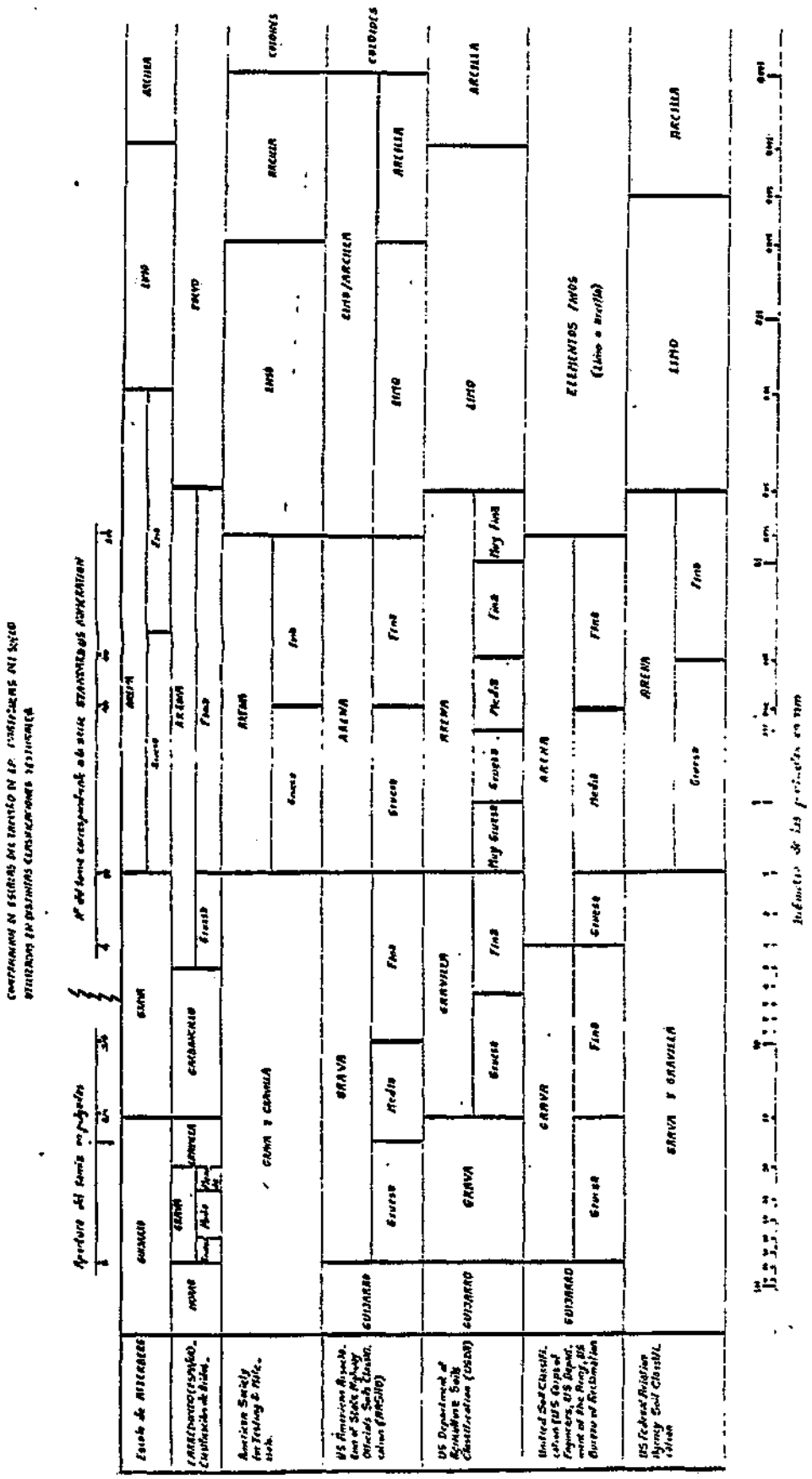
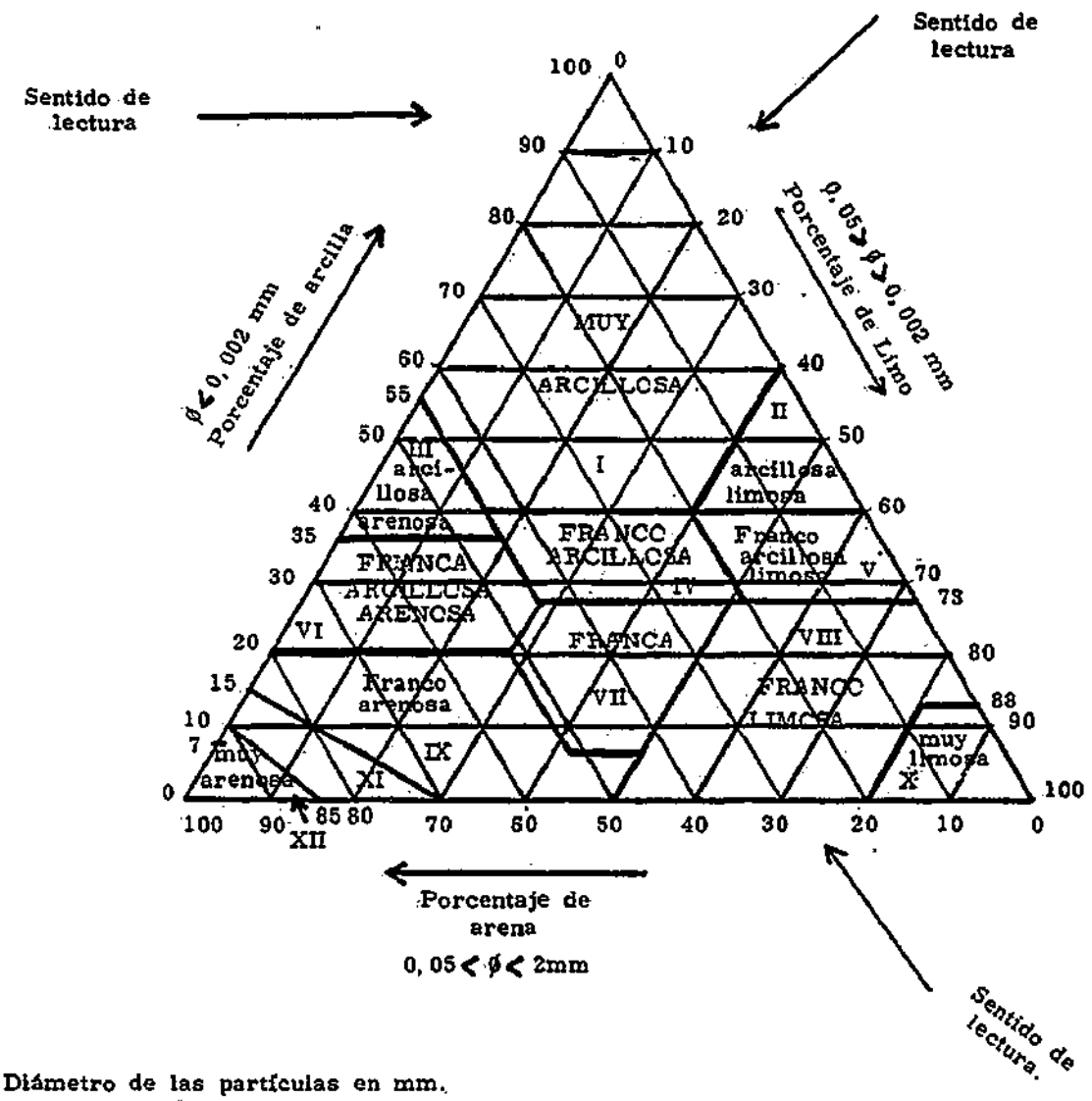

Escala de MIERCHER
American Society for Testing & Mate-rials.
US Department of Agriculture Soils Classification (USDA)
United Soil Classifi-cation (US Corps of Engineers, US Depart-ment of the Army, US Bureau of Reclamation
US Federal Aviation Agency Soil Classifi-cation
GUIJARRO
GRAVA
ARENA
LIMO
ARCILLA
ELEMENTOS FINOS
GRAVA Y GRAVILLA
ARENA Y GRAVILLA
Grueso
Medio
Fino
Muy Grueso
Muy Fino
Indicación de los principales grupos

TABLA 4.5.1.



ø Diámetro de las partículas en mm.

(Según el SOIL SURVEY MANUAL, U.S. Department of Agriculture, Bureau of Plant Industry, Soils and Agriculture Engineering, 1951).

Figura 4.5.2.

TABLA 4.5.2.

Primer Nivel	Segundo Nivel	Tercer Nivel (Clases texturales básicas)
Suelos arenosos	Suelos de textura gruesa	XII. Textura muy arenosa XI. Textura arenosa franca.
Suelos francos o medios.	Suelos de textura moderadamente gruesa.	IX. Textura franco-arenosa
	Suelos de textura media.	VIII. Textura franco-limosa VII. Textura franca X. Textura muy limosa
	Suelos de textura moderadamente fina.	IV. Textura franco-arcillosa VI. Textura franco-arcillosa-arenosa V. Textura franco-arcillosa-limosa
Suelos arcillosos	Suelos de textura fina	III. Textura arcilloso-arenosa. II. Textura arcilloso-limosa I. Textura muy arcillosa

- Estructura

El término estructura se aplica al suelo para definir el estado de agregación de sus partículas componentes, minerales y orgánicas.

La estructura del suelo depende de la existencia de coloides floculados que aglomeren las partículas individuales unas con otras para formar "agregados elementales". La unión entre los agregados elementales, debida a los mismos coloides floculados u otros agentes cementales (óxidos coloidales de hierro y aluminio, arcillas, complejos arcillo-húmicos, carbonato cálcico ...), forma los grumos del suelo. Esta unión entre agregados no es de manera compacta, sino que deja espacios vacíos y poros que facilitan la rotura por superficies y zonas de menor resistencia.

La estructura se relaciona, dado su significado, con las propiedades físicas de los suelos: resistencia, compresibilidad, etc, y con sus condiciones para la vida de las plantas (aireación, capacidad de retención de agua, etc).

Se conoce con la denominación de estabilidad estructural, o estabilidad de los agregados, a la resistencia de los grumos y agregados del suelo a deshacerse o disgregarse en condiciones de humedad. Esta estabilidad estructural depende del tipo y cantidad de arcilla en el suelo, del tipo y cantidad de materia orgánica y del tipo y cantidad de cualquier otro agente cementante mantenedor de la estructura. La estabilidad estructural está en relación directa con la permeabilidad del suelo (la pérdida de estructura por la lluvia, por ejemplo, puede crear una capa compacta superficial que impida la infiltración del agua).

El SOIL SURVEY STAFF del U.S.D.A., 1951, ha propuesto la distinción de tipo de estructura, clase

de estructura y grado de estructura.

Por tipo de estructura se entiende la forma y disposición de los agregados. Se distinguen cuatro tipos fundamentales de estructura:

- Laminar
- Prismática y columnar.
- En bloques, angulares y subangulares.
- Esferoidal, granular y migajosa (la estructura granular es relativamente poco porosa, y la migajosa muy porosa).

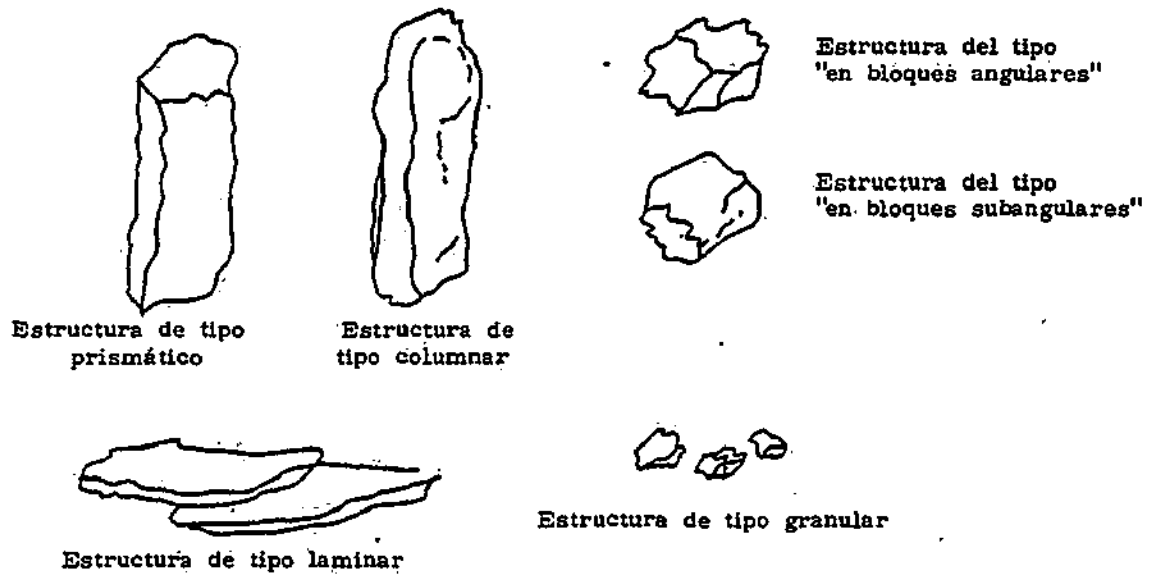


Figura. 4.5.3

Por grado de estructura se entiende el estado de agregación, y expresa la diferencia entre la cohesión dentro de los agregados y la adhesión entre éllos. El grado de estructura varía con el contenido de humedad del suelo, y debe expresarse con referencia al nivel hídrico más corriente en el suelo.

Se distinguen cuatro grados fundamentales de estructura:

- Estructura nula, sin agregación. Puede ser masiva, cuando es coherente, o particular (de grano simple), cuando no es coherente.

- Estructura débil, agregados o grumos muy poco formados y difíciles de observar.

- Estructura moderada, agregados o grumos bien formados de moderada cohesión. En suelos laboreados o sometidos a algún tipo de deterioro, los agregados o grumos se deshacen en pequeños y numerosos microagregados.

- Estructura fuerte, agregados o grumos bien formados, duraderos y evidentes, con pequeña adhesión entre éllos que hace que se separen cuando el suelo se remueve.

La clase de estructura hace referencia al mayor o menor tamaño de los agregados del suelo.

Características hidrológicas.

Capacidad de retención de agua.- Cuando un suelo ha perdido únicamente su agua gravitacional, se encuentra con un grado de humedad que define su "capacidad de campo". La capacidad de campo de

un suelo marca un límite entre el agua gravitacional y el agua capilar, e indica la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo tras dos días de aporte de agua. Suele expresarse como el agua retenida en el suelo con una tensión de 0,05 bar.

El límite entre el agua higroscópica y el agua capilar se expresa por el "coeficiente higroscópico" del suelo, que viene dado por la cantidad de agua retenida en el suelo con una tensión de 30 bar.

Puede establecerse el siguiente esquema:

		Tensión de retención del agua en bar.	
Punto de saturación	- - - - - - - - - -	0	
	AGUA GRAVITACIONAL		
Capacidad de campo	- - - - - - - - - -	0,05	AGUA RETENIBLE
	AGUA CAPILAR		
Coeficiente higroscópico.	- - - - - - - - - -	30	

La capacidad de almacenamiento de agua de un suelo, varía, pues, según la cantidad y tamaño de sus poros, y por tanto según su textura, estructura y contenido en materia orgánica.

En general puede establecerse el siguiente Cuadro:

Textura	Contenido en materia orgánica	Capacidad de retención de agua
Suelos arenosos	Bajo	Muy escasa (poros grandes)
	Alto	Escasa (al formarse grumos pueden crearse algunos poros capilares)
Suelos limosos.	Bajo	Muy elevada (la textura limosa es la adecuada para la configuración de poros capilares; ver Tabla anterior)
	Alto	Elevada (al formarse grumos, se crearán algunos macroporos de agua gravitacional)
Suelos arcillosos.	Bajo	Casi nula (el agua adherida a las partículas arcillosas es higroscópica, dependiente fundamentalmente de la humedad atmosférica, y su estructura laminar configura escasos poros capilares)
	Alto	Elevada (al formarse grumos con partículas pequeñas se forman muchos poros capilares)

Características químicas.

Reacción del suelo. pH.- El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (hidrogeniones, H^+) en una solución.

La medida del pH indica, pues, el grado de acidez de la solución del suelo, (los iones hidrógeno en solución) pero no la acidez total del suelo, ya que no se miden los iones hidrógeno que se encuentran adsorbidos en la superficie de las micelas coloidales. De todas formas, la medida de los hidrogeniones en solución es un valor indicativo de la acidez total del suelo, dada la estrecha relación existente entre las fases líquida y sólida del suelo: si se produce un desequilibrio, parte de los hidrogeniones adsorbidos pasan a la solución del suelo, o viceversa, hasta que se restablece el equilibrio.

Una evaluación más directa de la acidez total puede obtenerse a partir de la medición de pH de la solución obtenida tras dispersar el suelo en ClK, ya que el intercambio catiónico, entre el K^+ del dispersante y el H^+ de las micelas del suelo, hace que todos los hidrogeniones se encuentren en la solución.

La importancia del pH del suelo se debe a motivos directos, la influencia que el ambiente más o menos acidificante o basificante puede tener sobre las condiciones de desarrollo de las plantas o de los microorganismos edáficos, y a motivos indirectos, debido a su intervención sobre otras características del suelo:

- Influye en la velocidad y cualidad de los procesos de humificación y mineralización, a través de su influencia sobre los microorganismos del suelo.

- Influye en el estado de determinados nutrientes, caracterizando, por tanto, su grado de asimilabilidad por los vegetales y la productividad del suelo.

- Asímismo el grado de acidez del suelo puede determinar toxicidades, al poder hacer fácilmente asimilables sustancias normales inactivas y tóxicas, en grandes cantidades, para los vegetales (por ejemplo, en suelo muy acidos y mal aireados el aluminio y el manganeso son fácilmente asimilables).

- Condiciona la estructura del suelo, y por tanto, todas las propiedeades edáficas que se derivan de aquélla: en suelos muy básicos los coloides electronegativos (arcillas, humus, complejos ferro y ferrisilíceos...) están dispersos y el suelo no poseerá una estructura grumosa. En ambientes de pH muy bajo serán los coloides electropositivos los que estarán dispersos, y, por contra, floularán en ambientes alcalinos.

Se han propuesto diversas y muy similares clasificaciones del suelo respecto a esta característica. Debido a su difusión y amplia utilización se cita aquí la siguiente:

- Clasificación de WILDE, (citada en GANDULLO, 1962)

Valores del pH de la solución del suelo	Clasificación del suelo
< 4.0	Suelos extremadamente ácidos.
4.0 - 4.7	Suelos muy fuertemente ácidos
4.7 - 5.5	Suelos fuertemente ácidos.
5.5 - 6.5	Suelos moderadamente ácidos
6.5 - 7.3	Suelos neutros
7.3 - 8.0	Suelos moderadamente básicos.
8.0 - 8.5	Suelos fuertemente básicos.
> 8.5	Suelos extremadamente básicos.

Contenido en carbonato cálcico.- El carbonato cálcico constituye la principal fuente del elemento calcio en el suelo. Otra fuente la constituyen ciertos silicatos (feldespatos y ferromagnesianos), aunque en muy pequeña proporción y además en forma difícilmente utilizable por los vegetales dada la inalterabilidad de aquellos minerales.

El carbonato cálcico se presenta en el suelo de forma muy variada:

- En partículas derivadas de la alteración de una roca madre caliza. El CO_3Ca de gravas, gravillas y arenas es químicamente inactivo, hasta que por disgregación física se convierta en partículas más pequeñas; el CO_3Ca de limos y arcillas es químicamente activo en los procesos del suelo.

- Depositado en el suelo durante la percolación de aguas calcáreas, cargadas de $(CO_3H)_2Ca$, bicarbonato cálcico, soluble en el agua. El depósito de CO_3Ca tiene lugar cuando ocurren cambios en el pH, aireación del suelo o evaporación del agua del suelo durante periodos de sequía.

La importancia del conocimiento del contenido en carbonato cálcico del suelo deriva de ser, como ya se comentó, la principal fuente del elemento calcio.

El calcio presente en la solución del suelo y adsorbido en el complejo coloidal de cambio catiónico, constituye uno de los principales elementos nutritivos de la vegetación, tiene una influencia preponderante en el valor del pH del suelo, y es un determinante muy importante de la estructura del suelo y de su estabilidad.

La presencia de calcio adsorbido en las micelas electronegativas, "neutraliza" su carga superficial y permite su floculación, su asociación al humus y la formación de grumos.

Disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas.

Este tipo de características edáficas afectan fundamentalmente a la utilización del suelo con actividades agrarias.

Los nutrientes del suelo pueden dividirse en dos grupos:

- Macronutrientes, requeridos en grandes cantidades por las plantas, como el hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

- Micronutrientes, requeridos por las plantas en cantidades muy pequeñas; su gama es muy amplia (sodio, hierro, aluminio, silicio, cobre, molibdeno, cinc...).

El desarrollo de la vegetación depende de la existencia en el suelo de las cantidades correctas de estos nutrientes. Su defecto puede limitar o impedir el crecimiento de las plantas y su exceso puede, a veces, producir toxicidades.

Los nutrientes del suelo pueden presentarse en varias forma:

- Disueltos en el agua del suelo, y, por tanto, directamente utilizables por las plantas.

- Adsorbidos en la superficie de las partículas coloidales, intercambiables con iones de la solución del suelo, y, por tanto, utilizables, tras ese paso, por las plantas.

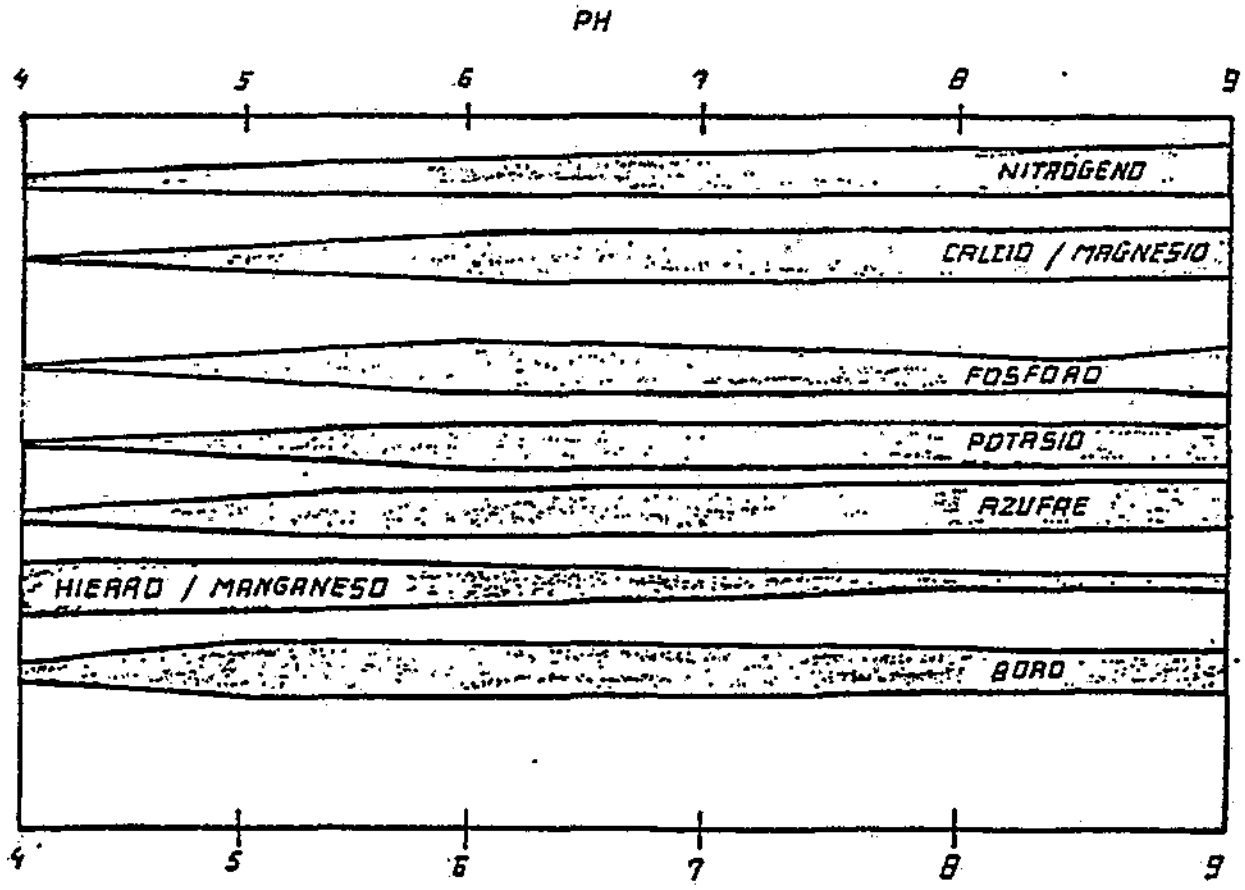
- Formando parte constituyente de las partículas minerales, y solamente utilizables tras su liberación por los procesos de alteración.

En la disponibilidad de nutrientes del suelo juegan su papel, pues, la roca madre (cantidad, tipo de nutrientes, magnitud del complejo adsorbente), la intensidad de los procesos de alteración, el contenido en materia orgánica (por su influencia en la formación de coloides y constituir asímismo fuen-

te de nutrientes), y, de manera fundamental, el pH.

La influencia del pH sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas se ejerce a través de su influencia sobre la solubilidad de tales nutrientes. La mayoría de nutrientes son más solubles cuanto más bajo es el pH, se liberan con mayor facilidad en condiciones de acidez. Sin embargo si el pH es demasiado bajo, las pérdidas de nutrientes por lavado pueden aumentar, y decrecer por ello su disponibilidad para las plantas. También unas condiciones demasiado favorables para la solubilidad de los nutrientes pueden provocar la aparición de toxicidades.

BRIGGS, 1977, esquematiza la relación general entre disponibilidad de algunos nutrientes y valores de pH del suelo en la siguiente figura:



Contenido en sales solubles.- El contenido en sales solubles de un suelo puede tener su origen en la alteración de los minerales constituyentes de la roca madre, en la propia roca, como es el caso de muchas rocas sedimentarias, o en su aporte por aguas cargadas de sales en disulución, bien en aguas de origen natural o de origen antrópico, como los riegos.

La importancia del conocimiento de la salinidad del suelo radica en su influencia sobre la productividad edáfica, sobre todo cuando alcanza proporciones importantes que exigen cuidados especiales

para su recuperación y manejo. En este sentido es de destacar la gran cantidad de hectáreas puestas en regadío en regiones áridas y semiáridas, incluso en nuestro país, que han debido ser posteriormente abandonadas debido a los procesos perjudiciales desencadenados por el propio riego. La otra gran influencia de la salinidad recae sobre la estructura del suelo, que, en ocasiones, se pierde por el lavado o riego.

De forma general los suelos salinos se forman en las zonas bajas de áreas áridas y semiáridas, donde pueden existir acumulaciones de aguas cargadas en sales que al evaporarse precipitan éstas en la superficie, a veces en forma de costras y nódulos.

Atendiendo a la naturaleza y origen de los suelos, pueden distinguirse:

. Suelos salinos, que contienen sales solubles en cantidad suficiente para interferir en el crecimiento de la mayor parte de las plantas cultivadas.

. Suelos alcalinos, suelos con un pH muy elevado (> 8.5), o un alto porcentaje de sodio intercambiable adsorbido en el complejo de cambio (> 15%), o ambas cosas, lo que limita el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

. Suelos salino-alcalinos, que combinan las condiciones de los suelos anteriores.

Características químico-biológicas.

· Contenido en materia orgánica

Como ya se comentó anteriormente, la materia orgánica del suelo se presenta en aspectos bien diferenciados:

- Materia orgánica claramente visible contituída por el sistema radical de las plantas y la fauna edáfica.
- Materia orgánica constituyente de los microorganismos del suelo.
- Restos vegetales parcialmente descompuestos en los que aún es perfectamente reconocible su estructura original.
- Materia orgánica totalmente transformada, de tonos pardos o negruzcos que constituye el denominado "humus".

El contenido en materia orgánica del suelo decrece con la profundidad, a excepción de las turberas en que permanece prácticamente constante, o en los podsoles en que tiene lugar un segundo horizonte de acumulación húmica a cierta profundidad. Por ello, la influencia del contenido en materia orgánica se ejerce fundamentalmente en las capas superiores del suelo y su constatación es importante sobre todo para las actividades agrarias. En lo que respecta a los desarrollos constructivos y de servicios públicos, el análisis de esta característica debe dirigirse a las limitaciones derivadas de la existencia de grandes espesores de alto contenido orgánico, como ocurre en las turberas, dada su gran comprensibilidad y mínima capacidad de carga.

Las características de la materia orgánica transformada, el humus, dependen en gran medida de las condiciones ambientales en que tiene lugar la transformación. Por ello se distinguen varias clases de humus, con comportamiento distinto en los procesos y propiedades del suelo, cuyas características se resumen en el Cuadro siguiente:

		Espesor del horizonte superficial de acumulación de despojos orgánicos(Ao)	Relación C/N	pH en el horizonte de mezcla de materia mineral y orgánica (A_1)	Características generales
Humus no hidromórfico (suelos aireados)	Mull	0	10-20 (en A_1)	5.5 - 7.5	- No hay acumulación superficial de despojos vegetales. - Materia orgánica bien incorporada al suelo mineral. - Formación de complejos arcilla-humus coloidales. - Rapida mineralización. - Insoluble en agua y difícilmente dispersable.
	Moder	2 - 3 cm	15-25 (en A_1)	4.5	- Horizonte Ao de pequeño espesor. - La incorporación al suelo mineral no es perfecta: se forman microagregados exclusivamente orgánicos yuxtapuestos a microagregados minerales.
	Mor	10 -20 cm	20-50 (en Ao)	3.5	- Gran acumulación superficial (10-20cm) de despojos orgánicos. - Mineralización muy lenta. - Destructor del complejo coloidal arcilloso. - Algo soluble en agua y muy dispersable.
Humus hidromórfico (suelos encharcados)	Anmoor	-	20	Variable	- Estructura pastosa. - Contenido en materia orgánica inferior al 30% - Alternancia de períodos de encharcamiento con períodos de aerobiosis.
	Turba mesotrófica o eutrófica.	50 cm	15-30	7.0-7.5 (en el único horizonte orgánico)	- Estructura fibrosa - Contenido en materia orgánica superior al 30%. - Encharcamiento permanente.
	Turba oligotrófica.	50 cm	30-40	3.5-4.0 (en el único horizonte orgánico)	- Estructura fibrosa - Contenido en materia orgánica superior al 30% - Encharcamiento permanente.

El papel de la materia orgánica sobre las propiedades de los suelos es múltiple:

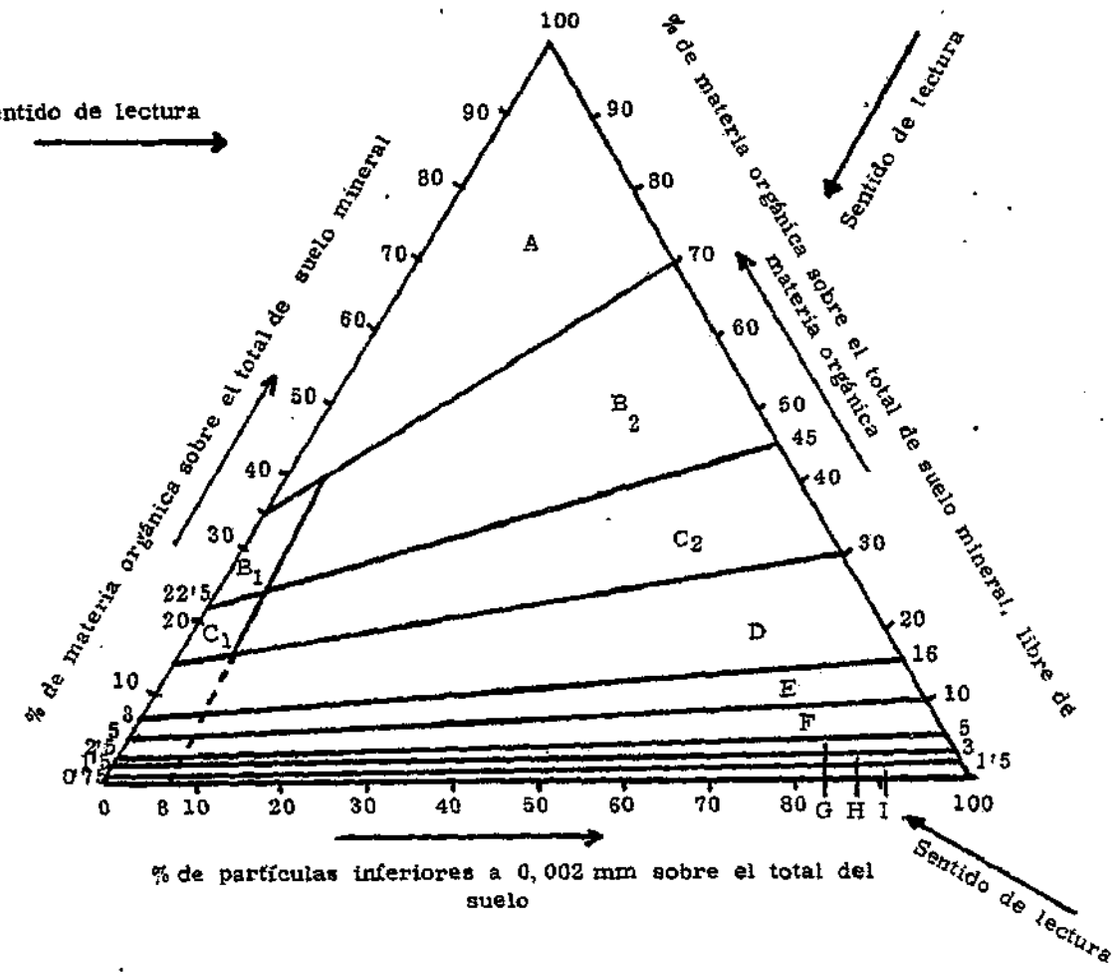
- Constituye una fuente de nutrientes, por lo que influye positivamente en la productividad del suelo.

- Constituye un medio de cultivo para los microorganismos edáficos, cuya influencia es decisiva en los procesos de reciclado de los elementos minerales (descomposición y mineralización de los residuos orgánicos).

- Contribuye a la estabilidad de la estructura del suelo. El humus de tipo mull es un coloide de tipo hidrófilo que se rodea de una película de agua y por tanto posee una gran resistencia a pasar del estado floculado al disperso y viceversa, al contrario de lo que sucede con los coloides arcillosos. La formación de complejos coloidales arcillo-húmicos favorece la formación de grumos estables, y por

tanto aumenta la capacidad de retención de agua del suelo y favorece la adsorción de elementos nutritivos minerales. Se estima que la materia orgánica en estado de mull aumenta la capacidad de retención de agua del suelo alrededor de un 2% por cada uno por ciento de contenido en materia orgánica.

En 1969, el NETHERLANDS SOIL SURVEY INSTITUTE de Holanda, propuso la siguiente clasificación y nomenclatura de los suelos en función de su contenido en materia orgánica:



Nomenclatura de las clases

I - Suelo extremadamente pobre en humus.
H - Suelo muy pobre en humus
G - Suelo moderadamente pobre en humus.
F - Suelo moderadamente húmico
E - Suelo muy húmico
D - Suelo rico en humus

C_1 - Arena turbosa
C_2 - Arcilla turbosa
B_1 - Turba arenosa
B_2 - Turba arcillosa
A - Turba

Estas clases se subdividen y califican por las clases texturales correspondientes (por ejemplo, suelo muy húmico franco-limoso).

Propiedades físicas

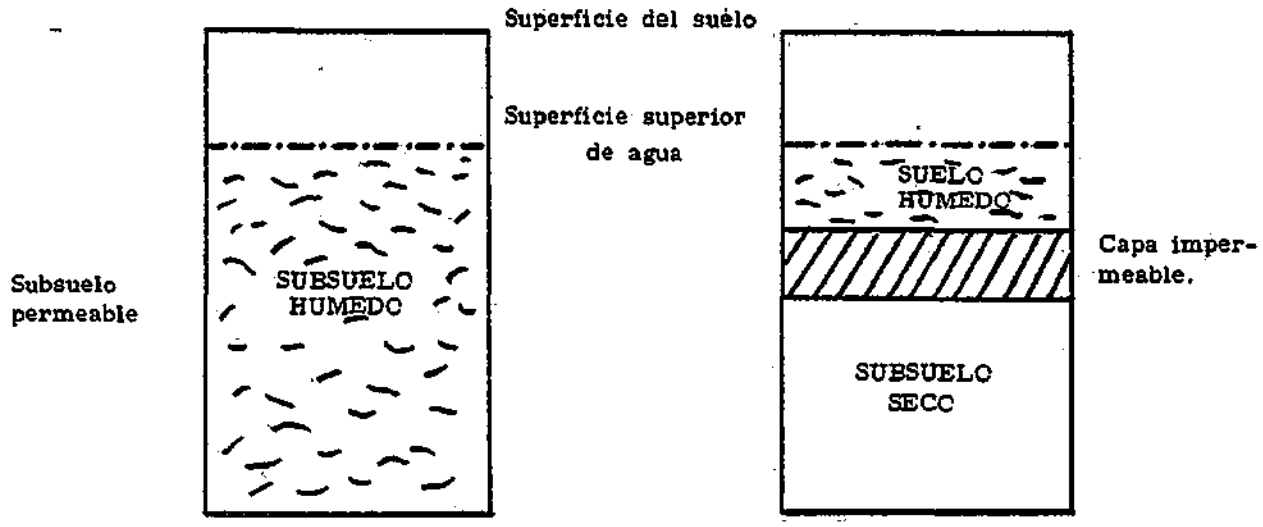
Drenaje interno.

Según PLAISANCE y CAILLEUX, 1958, el drenaje interno del suelo se refiere a la evacuación natural del exceso de agua en el interior del suelo.

Se puede distinguir:

- Drenaje superficial, que interesa a la capa de suelo propiamente dicha. Este tipo de drenaje se considera por los edafólogos como el drenaje interno, "sensu stricto".
- Drenaje profundo, que interesa al sustrato, a veces muy profundamente, e influye directamente en la localización y capacidad de los acuíferos de agua subterránea.

El agua subterránea es el agua que satura las formaciones rocosas del subsuelo o circula por sus cavidades. La capa más superficial de este agua constituye la capa freática, que fluctúa en su nivel según la cantidad de precipitación recibida por el suelo en las distintas épocas del año, y puede presentar peculiaridades derivadas de su estacionalidad y del sustrato en el que se apoya:



Capa freática apoyada Capa freática colgada

El drenaje interno del suelo depende de la permeabilidad media del material del suelo, de su capacidad de retención de agua, del tipo litológico originario del suelo, de la presencia o ausencia de una capa freática, y del grado de escorrentía o escurrimiento superficial del mismo suelo.

Los suelos de textura gruesa drenan el agua a través del perfil muy rápidamente, y este drenaje se califica de excesivo. Los suelos drenados de modo imperfecto, que mantienen un nivel freático de agua temporal por un período considerable durante las lluvias y después de ellas, son aquéllos que tienen una estructura muy compacta, o una capa dura subyacente.

El drenaje interno se refleja, pues, en la frecuencia y duración de los períodos de saturación con agua del suelo. En base a este tipo de consecuencias se han realizado la mayoría de las clasificaciones de suelos referentes a esta cualidad.

Permeabilidad

La permeabilidad de un suelo es su capacidad para dejar fluir, o transmitir, agua o aire a través de su espesor.

La permeabilidad del suelo depende de su textura, estructura, grado de compactación, contenido en materia orgánica, porosidad, etc., características que determinan el tamaño de los poros y su capilaridad. Cuando se carece de medidas precisas de la permeabilidad, ésta deberá interpretarse a partir de las mencionadas características.

El contenido o interpretación de la permeabilidad del suelo es importante en la determinación del potencial del suelo para actividades tales como instalación de fosas sépticas (peligro de filtración de contaminantes hacia capas freáticas), respuestas a drenajes y riegos, etc.

Cuantitativamente la permeabilidad se mide en términos de la velocidad del paso de agua a través de una unidad de sección transversal del suelo saturado de humedad en una unidad de tiempo, bajo condiciones hidráulicas y de temperatura específicas.

El coeficiente de permeabilidad se define como la velocidad de descarga de un fluido que se filtra a través de una sección de suelo unidad bajo un gradiente unidad:

$$K = D_s^2 \frac{\gamma}{\mu} \frac{e^3}{(1+e)} C$$

D_s = diámetro efectivo de las partículas
γ = peso específico del líquido
μ = viscosidad del fluido.
e = relación de vacíos (porosidad)
C = factor de forma

La influencia general de la textura y contenido en materia orgánica del perfil edáfico sobre su permeabilidad, puede esquematizarse como sigue:

Textura	Contenido en materia orgánica	Permeabilidad
Suelos arenosos	Bajo	Muy elevada
	Alto	Elevada
Suelos limosos	Bajo	Muy escasa
	Alto	Escasa
Suelos arcillosos	Bajo	Mínima
	Alto	Media (por formación de grumos)

Consistencia (capacidad de laboreo)

Siguiendo la definición del SOIL SURVEY STAFF, 1951, el término consistencia del suelo se refiere a los atributos del material del suelo que se expresan por el grado y clase de su cohesión y adhesión, o por su resistencia a la deformación o rotura. Las fuerzas de cohesión intra-agregados y las fuerzas de adhesión inter-agregados del suelo, caracterizan su resistencia a la rotura, su mayor o menor dureza, y están en íntima relación con el contenido en agua del suelo.

La descripción de la consistencia del suelo debe ir siempre referida a un determinado grado de humedad, ya que, fundamentalmente, las variaciones en las fuerzas de cohesión y adhesión en los agregados del suelo se producen por variaciones en la humedad del suelo.

La consistencia del suelo trata de la intensidad y naturaleza de las fuerzas que mantienen a los agregados del suelo, mientras que la estructura hace referencia a la forma, tamaño y definición de tales agregados.

Los cambios de consistencia del suelo, desde duro a blando, desde plástico a fluido, ejercen una gran influencia sobre la productividad, estructura y capacidad portante de los suelos, y es de gran importancia su conocimiento en los estudios de utilización de aquél.

El AGRICULTURAL ADVISORY COUNCIL, 1970, define las siguientes formas de consistencia del suelo, que varían de una a la otra al incrementarse la cantidad de agua que contiene el suelo:

- Consistencia dura, cuando el suelo está seco. Con agregados duros y resistentes. Es la mejor consistencia para la utilización de maquinaria pesada.

- Consistencia blanda, cuando el suelo está húmedo. Los agregados y terrones son friables, se desmenuzan bajo una presión moderada. Esta suele ser la mejor consistencia para el laboreo de los suelos.

- Consistencia plástica, cuando aumenta la humedad del suelo sobre la que posee en el estado de consistencia blanda. La friabilidad del suelo desaparece uniéndose partículas y agregados en una masa deformable bajo compresión. El suelo se hace mucho más difícil de trabajar. Se moldea y comienza a adherirse a los aperos.

- Consistencia viscosa, cuando el suelo se hace más pastoso e incluso fluido, tendiendo eventualmente a fluir como el agua.

Estos cambios en la consistencia al variar el contenido de agua son más notables en unos suelos que en otros, dependiendo fundamentalmente de la textura del suelo y luego del contenido en materia orgánica. En los suelos arenosos los cambios de consistencia tienen lugar con pequeñas variaciones en el contenido de agua. Los suelos arcillosos pesados requieren mayores cantidades de agua para cambiar, siempre de forma más suave y gradual, su consistencia.

Plasticidad

La plasticidad es la propiedad que posee un suelo húmedo de poder sufrir deformaciones permanentes, más o menos considerables, bajo la acción de fuerzas exteriores, sin que se deriven cambios de volúmen, repercusiones elásticas, rupturas o desmoronamientos.

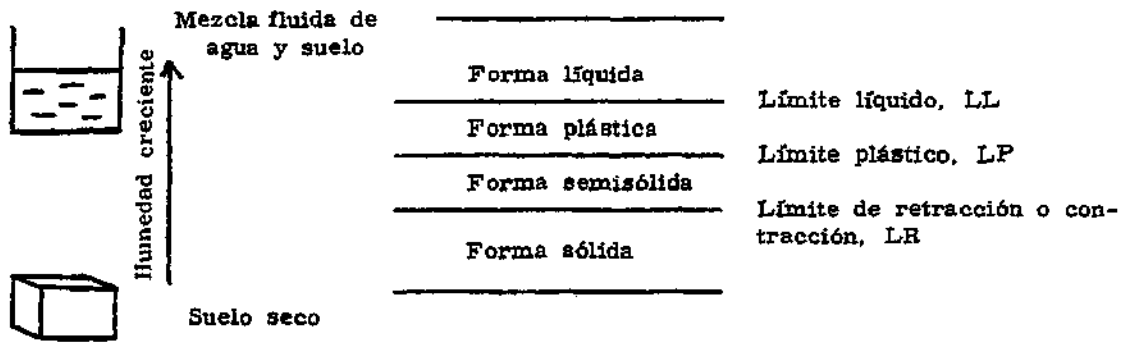
La plasticidad del suelo indica su capacidad para deformarse, en condiciones de carga, debido al deslizamiento interno de sus partículas, en los puntos de contacto entre las distintas partículas.

La plasticidad del suelo puede definirse como una propiedad a nivel coloidal; depende de la textura del suelo, y dentro de un mismo suelo es función del grado de humectación. Así, las arcillas, casi fluidas cuando contienen mucha agua, y duras y resistentes cuando están secas, pasan, generalmente, por numerosos estados plásticos de un modo gradual. En las arenas, por el contrario, es brusco el paso del estado sólido al fluido; los terrenos arenosos son suelos de plasticidad nula.

La plasticidad depende asímismo de la mineralogía de las arcillas del suelo, de la relación superficie/volúmen en las mismas y de su capacidad de adsorción de agua.

La plasticidad del suelo se considera, dada su relación con el grado de humectación, como uno de los estados de consistencia cuando el suelo está mojado. Para la caracterización del estado del suelo en relación con la plasticidad se utilizan las categorías y límites definidos por ATTERBERG y CASAGRANDE en 1948, que se esquematizan a continuación:

CATEGORIAS Y LIMITES DE ATTERBERG (Según CASAGRANDE, 1974)



Las determinaciones de los límites de ATTERBERG suelen expresarse como porcentajes de humedad referidos a la fracción de suelo de partículas de diámetro inferior a 0,4 mm.

La relación entre los límites de ATTERBERG y la textura del suelo puede esquematizarse, de forma muy general, como sigue:

	Límite de retracción LR	Límite plástico LP	Límite líquido LL	Límite de plasticidad IP
Suelos arcillosos	Bajo	Bajo	Muy alto	Grande
Suelos limosos	Alto	Alto	Alto	Pequeño
Suelos arenosos	Alto	-	-	Nulo

Los suelos arcillosos, pues, son prácticamente los únicos capaces de soportar deformaciones plásticas en un amplio intervalo de contenidos de humedad. El conocimiento de la plasticidad de un suelo puede ser de gran importancia para el establecimiento de su comportamiento ante aquellas actua-

ciones, fundamentalmente de ingeniería y construcción, en las que las deformaciones plásticas potenciales hayan de ser tenidas en cuenta.

Resistencia a los esfuerzos cortantes o a la cizalladura.

Mide el esfuerzo cortante que puede soportar el suelo sin excesiva deformación, bajo condiciones específicas de carga, compresión y contenido de agua en los poros (WAY, 1973).

En suelos de poca cohesión, como arenas y limos inorgánicos, la forma de las partículas y su distribución granulométrica son los determinantes más significativos de la resistencia a la cizalladura.

Esta cualidad es muy importante en relación con los procesos de estabilidad de taludes y suelos en pendiente.

Compacidad

Generalmente se entiende por compacidad una combinación de la consistencia del suelo y de la distribución o disposición de las partículas en estructuras más o menos densas.

CASAGRANDE, 1974, propone para caracterizar la compacidad de un suelo granular la medida de su compacidad relativa, Dr, que se define como sigue:

$$Dr = \frac{\gamma\, dmáx}{\gamma\, d} \times \frac{\gamma\, d - \gamma\, dmín.}{\gamma\, dmáx - dmín.} \times 100\%$$

γdmáx = peso específico del suelo seco en su estado más compacto.
γdmín = peso específico del suelo seco en su estado más suelto
γd = peso específico del suelo seco "in situ"

De acuerdo con esta definición, se propone la siguiente clasificación:

Compacidad relativa Dr (en %)	Denominación del suelo
0 - 15	Muy suelto
15 - 35	Suelto
35 - 65	Con compacidad media
65 - 85	Compacto
85 - 100	Muy compacto

Elasticidad

La elasticidad se refiere a la capacidad del suelo para volver a su volumen original después de la aplicación y retirada de una carga. Si después de retirada la carga el suelo tiende a disminuir de volúmen, el proceso se denomina consolidación. Si, por el contrario, el volúmen tiende a aumentar, el proceso es de expansión.

Este tipo de cualidades tiene su mayor significación en los estudios de capacidad y vulnerabilidad del suelo para actividades constructivas, implantación de autopistas y aeropuertos, etc.

Susceptibilidad a las deformaciones por cambios de volúmen.

Pueden distinguirse, como cualidades relaciondas con estos efectos, la compresibilidad o retracción

y la expansión o hinchamiento.

La comprensibilidad es una medida de la capacidad del suelo para disminuir de volúmen, bajo la acción de cargas esporádicas o permanentes. Depende, fundamentalmente, además de otras características, de la estructura del suelo. El proceso contrario define la expansión del suelo, que depende, prioritariamente, de la mineralogía de las arcillas del suelo, del grado de humedad y de la permeabilidad.

Las deformaciones por cambios de volúmen pueden suceder en el suelo por causas naturales o por aplicación o remoción de cargas externas. Entre éllas pueden citarse:

- Disminución del nivel de la capa freática (pueden conllevar una compresión).
- Disminución del contenido de agua en los poros del suelo (puede conducir también a una compresión)
- Construcción sobre el suelo (fenómenos de compresión o expansión, según las circunstancias)
- Efecto del hielo y deshielo del agua que ocupa los poros del suelo (expansión o compresión, respectivamente). Este efecto depende directamente de la capacidad de retención de agua en el suelo, y por tanto será máximo en suelos arcillosos y limosos ricos en materia orgánica, y mínimo en suelos arenosos.

Capacidad portante

Directamente relacionada con la compresibilidad, indica la capacidad del suelo para soportar pesos, tales como edificios, carreteras, vehículos...

Potencial corrosivo.

Esta cualidad puede tener una gran importancia en grandes superficies de nuestro país, cubiertas por materiales originarios yesosos. Los suelos con elevado contenido en sulfatos ($SO_4^=$) solubles, pueden provocar disoluciones y ataques en el hormigón, una vez que el agua de infiltración o freática se carga con dichas sales.

A este respecto, BICZOK, 1967, clasifica los suelos yesíferos por su agresividad al hormigón de la forma siguiente:

Grado de ataque	$SO_4^=$ solubles en el suelo	Partes por millón de $SO_4^=$ en el agua
Despreciable	0.00 - 0.10	0 - 150
Positivo	0.10 - 0.20	150 - 1000
Considerable	0.20 - 0.50	1000 - 2000
Severo	> 0.50	> 2000

Productividad del suelo.

El concepto de productividad del suelo, aquí en su sentido estricto edafológico, es un concepto debatido. El SOIL SURVEY STAFF, 1951, defiende que éste es un término económico, descartando que pueda hablarse de una productividad intrínseca de los suelos, de suelos poco o muy productivos "per se", sino que todo depende de las labores culturales, enmiendas, abonados, mecanización, etc, utilizados, y por tanto, del gasto técnico y económico que se desee invertir.

Sin embargo, y siguiendo opiniones más matizadas, puede argüirse que el concepto de productividad del suelo, en el sentido de su potencial de producción agraria (agrícola, piscícola y forestal), puede mantenerse. La labor técnica no siempre puede superar las limitaciones impuestas por unas características edáficas desfavorables que, al menos, pueden hacer problemático cierto tipo de aprovechamientos agrarios del suelo.

En esta línea, se han desarrollado metodologías dirigidas a la mapificación de los suelos, en las que los mapas se utilizan no para saber qué tipo de suelo genético existe en un determinado lugar, sino más bien para determinar el valor productivo de un suelo, su susceptibilidad de aprovechamiento. Esta interpretación de los mapas deberá realizarse en función de las características y cualidades, descritas en las páginas anteriores, que determinan el potencial agrario de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

- AGRICULTURAL ADVISORY COUNCIL, 1970. Modern Farming and Soil. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Her Majesty's Stationery Office, London.

- BICZOU, I., 1967. Concrete Corrosion and Concrete Protection. Chemical Publications, New York.

- BRIGGS, D., 1977. Soils. Buttercoorths, London

- CASAGRANDE, A., 1974. La naturaleza del suelo. In: LAMBE, T.W. y WHITMAN, R.V. Mecánica de suelos. Ed. Limusa, México.

- CLARKE, G.R., 1971. The Study of Soil in the field. Clarendon Press, Oxford.

- DUCHAUFOUR, P., 1977. Pédologie I y II. Masson, París.

- DUCHAUFOUR, P., 1978. Manual de Edafologia. Toray-Masson, Barcelona.

- GANDULLO, S.M., 1962. Apuntes de Edafología y Ecología. (Documento ciclostilado).

- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT, 1972. Fieldbook land and water for management experts. Provisional Edition, ILRI, Wageningen.

- MARSH, W.M., 1978. Environmental Analysis for Land Use and Site Planning. Mc Graw-Hill, New York.

- NICOLAS, A., 1968. Apuntes de Edafología. E.T.S. de Ingenieros de Montes, Sección de Publicaciones, Madrid (ciclostilado).

- PLAISANCE, G. y CAILLEUX, A., 1958. Dictionnaire des sols. La Maison Rustique, París.

- SOIL SURVEY STAFF, 1951. Soil Survey Manual. U.S. Department of Agriculture, Handbook nº 18, U.S.D.A., Washington D.C.

- STORIE, R.E., 1970. Manual de evaluación de suelos. Unión Tipográfica. Editorial Hispano-Americana, México.

- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1957. Yearbook of Agriculture. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.

- WAY, D.S., 1973. Terrain Analysis. A Guide to Site Selection Using Aerial Photographic Interpretation. Community Development Series, Dowdon, Hutchinson and Ross, Stroudsburg.

TEMA 5

ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR :

M. T. ESTEVAN BOLEA

L. MORENO ACEÑA

INDICE

	Pag.
1.- INTRODUCCION	1
2.- DESARROLLO Y CONTAMINACION	3
3.- EVOLUCION Y PROYECCION DEL CONSUMO ENERGETICO	5
4.- INVENTARIO MUNDIAL DE RECURSOS ENERGETICOS	7
5.- LA ENERGIA EN ESPAÑA	12
6.- INCIDENCIA DEL SECTOR ENERGETICO EN EL MEDIO AMBIENTE	14

Dos factores importantes actuan, en nuestros días, sobre la economía mundial de manera acuciante. Por un lado el crecimiento constantemente acelerado de la población mundial. Por otro el aumento progresivo del consumo per cápita de una parte de ésa población asentada en los países desarrollados e incluso en muchos en vías de desarrollo. Estos dos factores vienen modificando sustancialmente la forma en que han de tratarse los problemas de suministro de productos y servicios básicos ya que, año tras año, se requieren incrementos considerables de alimentos, viviendas, servicios sanitarios, centros educativos, transportes, etc.

Si revisamos, aunque sea muy brevemente, el desarrollo económico mundial y en particular el de Occidente, podemos observar que los grandes avances se iniciaron a finales del siglo XVIII, en la etapa que ha dado en llamarse "El Maquinismo" y que, en realidad, corresponde no a la utilización de máquinas por el hombre (esto venía haciéndolo la humanidad desde el principio de la historia) sino por la incorporación a las máquinas de la energía artificial procedente de los combustibles. La aportación de la máquina de vapor a la industria, y a los ferrocarriles más tarde, y la aplicación del carbón mineral como combustible y materia prima para fabricación de coque siderúrgico, pueden señalarse como los dos grandes jalones del comienzo del desarrollo económico mundial. Posteriormente, otro gran avance lo ha representado la incorporación de la electricidad a la actividad industrial y a los usos domésticos. Paralelamente pero con un desarrollo más lento en principio y más acelerado después, la utilización de los derivados del petróleo como carburantes y combustibles ha significado un enorme paso en la evolución de los transportes con el consiguiente desarrollo del comercio.

Es preciso reconocer que, en el conjunto de las actividades económicas, la energía ha jugado y sigue jugando un papel protagonista que ha incidido enórmemente en la capacidad de producción de todas las ramas industriales, en las actividades comerciales y en el confor doméstico. Es decir, que la energía es un factor vinculante de la producción de bienes y servicios y su consumo evoluciona paralelamente con el desarrollo de los países; tanto es así que, frecuentemente, los estudiosos y responsables de los problemas energéticos establecen las previsiones del consumo en base a su correlación con el P.N.B., estableciendo la elasticidad de la demanda energética con respecto a este parámetro. Para la próxima década al menos, el desarrollo de los países occidentales hemos de admitir que está, pués, condicionado por el crecimiento de los suministros de energía y la adecuada utilización de ellos.

Hasta ahora todo aumento del P.N.B., ha ido inseparablemente acompañado del incremento del consumo de energía en una cierta proporción. Esta proporción puede ser modificada sensiblemente en el futuro por la incidencia de los continuos aumentos del coste de los combustibles y por las medidas tomadas por los gobiernos para tratar de economizar energía.

¿Se ha de frenar el desarrollo económico?

¿Va a retroceder nuestro bienestar? ¿Se estancará la evolución de la calidad de vida?

Las respuestas tienen, como sabemos, muchos condicionantes y, quizás, uno de los más importantes es el concepto, que cada grupo social tiene de "calidad de vida" y de "bienestar".

El aumento de estos ¿es proporcional al incremento del P.N.B.?. Estos términos son poco precisos y juegan en ellos aspectos internos de la sociedad, formas de convivencia, actividades económicas, y

otros muchos. Pero lo cierto es que disponer de suficiente energía es el único medio de poder aumentar la capacidad del hombre para producir bienes y servicios necesarios, útiles o simplemente deseables, que satisfagan los anteriormente citados incrementos de población y de consumo per cápita que los solicitan. No es fácil imaginar cuales serán los intereses y formas de vida deseable de aquí a 15 o 20 años, pero cualesquiera que sean estos, será preciso más energía para atenderlos.

Aceptado que la energía es el motor básico del desarrollo económico y que es preciso un importante plazo para poner en servicio más fuentes de energía, la sociedad no puede permitirse el lujo de frenar el desarrollo del sector energético sin poner en apuros la satisfacción de muchas necesidades y aspiraciones lícitas. Estas no podrán ser atendidas únicamente con medidas de conservación de energía y lucha contra su despilfarro. Hará falta aumentar, durante muchos años áún, las capacidades de suministro y por tanto de producción de energía. Otra cosa es que las instalaciones existentes reserven, siguiendo una política de conservación y austeridad, parte de su capacidad instalada (o en proyecto de instalación) sin utilizar y que esta capacidad sirva para atender futuras demandas que no sabemos exactamente cuando podrán aparecer de manera más acuciante. Pero para que esto sea posible han de ser instalados con anterioridad los equipos necesarios para poder saturarlos en el momento preciso.

El desarrollo económico, favorecido por las facilidades de consumo de energía, ha hecho posible realizar una gran especialización del trabajo, consiguiendose servicios sociales tan importantes como las viviendas confortables, asistencia sanitaria, popularización de la enseñanza y tantos otros avances sociales y económicos debidos a la potenciación de las capacidades físicas del hombre por medio de -- energías artificiales que le han permitido dirigir sus esfuerzos a desarrollar sus capacidades intelectuales. El desarrollo energético ha contribuido gradualmente a ello. Sin embargo, "en la otra cara de la moneda" también el desarrollo, con la multiplicación de los consumos energéticos, ha contribuido a aumentar molestias, inconvenientes y peligros.

El medio ambiente se modifica con la actividad del hombre. La contaminación puede ser considerada como un subproducto del desarrollo económico. A mayor desarrollo, mayor modificación del medio y casi siempre, por desgracia, mayor deterioro del mismo. Producción y consumo significan "tomar" recursos naturales para su transformación y "devolver" residuos al medio ambiente.

Haciendo una síntesis de las causas de incidencia sobre el medio que hemos apuntado, relacionamos las siguientes:

- Aumento del número de consumidores (aumento de población).
- Aumento de la capacidad individual de consumo (desarrollo económico).
- Utilización masiva de recursos naturales (aumento de la producción industrial).
- Aumento de los desechos de producción y de consumo enviados al medio (aumento de la contaminación ambiental).

Las soluciones, pués, a los efectos de degradación del medio han de abordarse atajando las causas que las producen. Habrá de buscarse, puesto que la primera sale del ámbito en que nos estamos moviendo:

- Racionalización del consumo evitando despilfarros, ya que el "crecimiento cero" carece de sentido en muchas áreas geográficas.
- Racionalización de la producción, eligiendo actividades poco contaminantes o localizándolas en zonas en que no perturben tanto y utilizando adecuadamente los recursos naturales para dañar el medio lo menos posible.
- Controlar y reciclar los desechos de producción y de consumo.

De lo expuesto podríamos deducir que:

- La contaminación es un coste social y económico del desarrollo.
- La incidencia del desarrollo sobre el medio ambiente procede no sólo de la producción sino también del consumo.

y podríamos añadir que:

- Existen soluciones técnicas para causas y efectos de la contaminación, pero se precisan muchas veces soluciones sociales para las causas sociales (aglomeración del transporte, vertido de desperdicios domésticos, etc.).

- Tanto las soluciones técnicas como las sociales tienen un coste (emisión reducida de contaminantes, instalación de equipos purificadores, educación de la sociedad, más servicios públicos, reciclado de desperdicios, etc.).

- Las soluciones parciales son menos eficaces, tanto si nos referimos a actividades económicas y ramas industriales como si hacemos referencia a diferentes países o regiones (competitividad de las actividades a las que no se obliga a costear la reducción de la contaminación).

La protección del medio ambiente responde a una demanda constante de la opinión pública y se observa que esta demanda está en estrecha relación con el nivel del P.N.B. alcanzado por el país. Hay algo de verdad en el dicho de que "el deseo de diversiones, de servicios sanitarios y el interés por la ecología dependen de la renta", ya que estos aspectos pierden importancia relativa en las etapas de recesión económica al acuciar otros problemas como el paro, endeudamiento creciente, etc.

Dado que en muchos casos los protagonistas del desarollo energético entran directamente en conflicto con los defensores del medio ambiente se puede llegar a imaginar erroneamente que existe incompatibilidad entre aquél y éste. Los intereses de estos dos grupos han contribuido a perpetuar el absurdo de que la sociedad tiene que elegir entre energía abundante y salvaguardia del medio. No es lícito este planteamiento pues no existen dos únicos caminos. El medio puede ser protegido prosiguiendo las políticas de desarrollo energético a condición de proyectar y aplicar medidas apropiadas para no degradar nuestro entorno con un coste soportable y otras para evitar el derroche de recursos naturales. Las demandas de energía suficiente y la defensa del medio ambiente no son incompatibles.

Defender esta afirmación nos obliga a realizar una panorámica, estudiando la evolución y proyección del consumo energético a través de la evolución de la población, el inventario de recursos y la incidencia de las distintas actividades del sector sobre el medio ambiente con las medidas necesarias para protegerlo.

El análisis de períodos dilatados, que permitan deducir perspectivas a largo plazo, precisa de datos que frecuentemente no son precisos pero que es necesario buscar y estimar para deducir de ellos factores y tendencias de gran inercia social. Así la aceleración del crecimiento de la población es indicativa de un proceso de desarrollo económico. Puede deducirse esta correlación en el cuadro siguiente en el que destaca que se precisó un período de 200 años (1650-1850) para duplicarse la población mundial. Después sólo se precisaron 100 años (1850-1950) para duplicarse otra vez durante la etapa del gran desarrollo que inició la aparición de la máquina de vapor. Una nueva duplicación se conseguirá, aproximadamente en menos de 50 años (1950-1990) período en el que no es dudoso el calificativo de gran desarrollo.

Año	Población Mundial (10^6 hab.)	Indice (%)	
1.650	507,5	100	
1.750	741,5	146	
1.800	943,-	186	
1.850	1.174,5	231	
1.900	1.597,-	315	
1.950	2.507,-	494	
1.970	3.473,-	684	
(1.980)	(4.220,-)	(830)	Previsiones
(2.000)	(6.250,-)	(1.230)	

Si analizamos la evolución del consumo de energía procedente de fuentes tecnológicas la correlación entre el incremento de población y dicho consumo per cápita, pese a ser un valor medio que resume situaciones muy dispares de zonas geográficas económicamente evolucionadas y regiones en subdesarrollo, es un parámetro de interés.

Año	Población Mundial 10^6 h.	Consumo Global de Enérgía 10^6 Tec.	Consumo de Energía per capita Tec/h.
1.800	943,-	12,3	0,013
1.850	1.174,5	93,8	0,080
1.900	1.597,-	760	0,476
1.920	1.763,-	1.382,-	0,783
1.940	1.947,-	2.006,-	1,030
1.960	2.962,-	4.296,-	1,440
1.980	4.219,-	9.670,-	2,290

En el período 1900-1980 el consumo individual se ha multiplicado por 4,8 lo que equivale a un crecimiento medio anual acumulativo del 2%. Si asignáramos este mismo ritmo de crecimiento del consumo por cápita a la previsión de población obtendríamos una proyección de la demanda global de energía tal como la que figura en el cuadro siguiente:

Año	Población Mundial 10^6 hab.	Proyección (2% acum.) del Consumo Mundial per cápita Tec/h. a	Proyección del Consumo Mundial de energía 10^6 Tec/a.
1.980	4.219	2.290	9.670
2.000	6.247	3.400	21.240
2.020	9.250	5.050	46.712
2.040	13.696	7.510	102.856

De acuerdo a esta proyección los coeficientes multiplicadores del consumo serían:

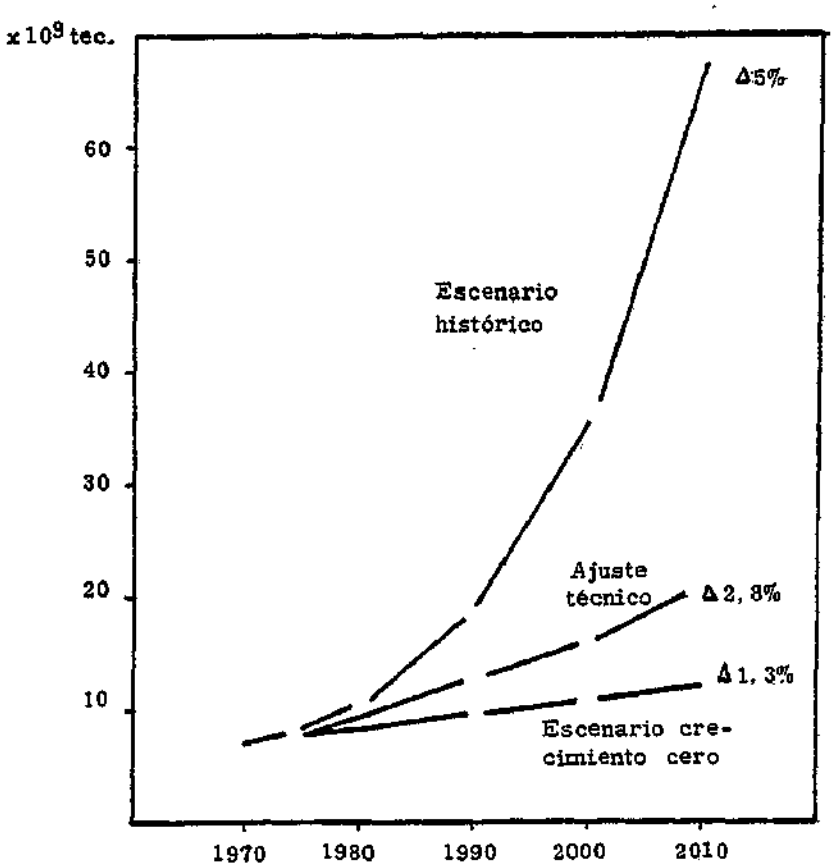
(en 65 años) 1.975 - 2.040 : x 12

(en 100 años) 1.940 - 2.040 : x 50

Estas estimaciones, por tratarse de extrapolaciones para períodos muy dilatados, tienen escasa fiabilidad, pero son indicativas de los órdenes de valor. Aún admitiendo desviaciones importantes respecto de estas cifras los suministros energéticos futuros adquirirán unos volúmenes realmente impresionantes, y no en un futuro tan lejano como para permitirnos no tener que actuar ya.

De todas maneras hemos de señalar que la evolución de la demanda de energía se atenuará alrededor del año 2.000 y una previsión más realista que la anterior podría admitir que el consumo para este año sí alcanzará los mencionados 20.000 x 10^6 Tec.; que esta cifra, quizás, se podrá duplicar para el año 2000; pero que al 2.040 se llegará con un consumo per cápita no superior a 5 Tec/hab. al año, lo que representa una demanda global de unos 68.000 x 10^6 Tec. (y no los 102.000 x 10^6 Tec.)

PROYECCIONES DE CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA



Con qué cuenta la humanidad para satisfacer esta demanda?. Que recursos convencionales puede utilizar y que otras fuentes de energía puede procurarse?.

La evaluación rigurosa del potencial mundial de recursos energéticos no solo es difícil sino que varía según los diferentes criterios que se apliquen. La experiencia histórica demuestra que el agotamiento de un recurso natural tiene un proceso muy lento. Expondremos a continuación las cifras máximas de las reservas de los diferentes recursos, que incluyen las "reservas probadas" y las "reservas diferidas" o suplementarias que se estiman. Se ha de tener en cuenta que el potencial conocido en cada momento no es un valor fijo sino que varía con la coyuntura, quedando condicionado por el precio de mercado y las espectativas de beneficio que cada tipo de recurso tiene. A mayor precio mayor interés en la investigación y mayor posibilidad de aumento del inventario geológico, por una parte. Pero además las reservas que en épocas de precios bajos no era rentable explotar, se convierten en explotables económicamente cuando existe una escalada de precios persistente.

Antes de comentar las reservas, relacionaremos los diferentes tipos de recursos que citaremos:

- Recursos Energéticos
  - Recursos Convencionales o Energías Tradicionales
    - Combustibles Sólidos
      - Leña
      - Turba
      - Lignitos (pardos, negros)
      - Hulla
      - Antracita
    - Combustibles Líquidos
      - Petróleo
      - Derivados del Petróleo
    - Combustibles Gaseosos
      - Gas Natural
      - Derivados del G.N
      - Gasificación de Carbones
      - Gasific. de Prod. Petrolif.
    - Energía Hidráulica
    - Combustibles Nucleares (Fisión)
    - Combustibles Nucleares (Fusión)
  - Recursos Especiales o Nuevas Energías
    - E. Solar
    - E. Geotérmica
    - E. Eólica
    - E. del Mar
      - Mareas
      - Olas
      - Corrientes
      - Gradiante térmico
    - Biomasa y Desechos orgánicos

La Conferencia Mundial de la Energía y la Agencia Internacional de Energía Atómica han elaborado cifras de reservas que se expresan y comentan.

4.1. CARBONES

Los recuros totales se evaluan en unos 9x 10^{12} Tec., sin embargo las reservas estimadas como técnica y economicamente explotables en la situación actual se valoran alrededor del 7% de esa cifra.

Las producciones mundiales pueden elevarse, mediante un fuerte impulso de la minería, a un crecimiento medio de 2,6% con lo que es posible alcanzar las siguientes cifras:

1.975	2.700 x 10^6 Tec.
2.000	5.100 "
2.020	8.600 "

pero este desarrollo se encuentra con obstáculos importantes en cuanto a la disponibilidad de personal para trabajo subterráneo y de insuficiencia de infraestructura de explotación y medios de transporte.

4.2. PETROLEO

Las reservas del petróleo convencional se estiman en más de 3,3 x 10^{11} Tm. pero parte de éstas situadas en zonas polares o bajo aguas profundas (alrededor de 4 x 10^{10} Tm.). Quedan pués unos 43 x 10^{10} Tec. explotables. Nuevos descubrimientos han surgido a razón de 4 x 10^9 Tm. por año, pero a final de siglo este ritmo decaerá probablemente. Las capacidades máximas de producción se cree pueden llegar a un techo de 5 x 10^9 Tm/año hacia 1.990.

4.3. GAS NATURAL

El volumen de reservas estimadas se eleva a 275 x 10^9 Tec., aunque realmente se conocen únicamente 85 x 10^9 Tec. La capacidad productiva evoluciona de forma que puede hacerse la siguiente proyección de la producción

1.976	1,7 x 10^9 Tec.
1.985	2,6 "
2.000	4,8 "
2.020	4,3 "

4.4. ENERGIA HIDRAULICA

El potencial actualmente aprovechado de recursos hidráulicos es de 480 x 10^6 Tec/año que, probablemente, representa el 20% del total técnica y económicamente explotable; lo que daría unos 2,4 x 10^9 Tec/a en total. Gran parte de estos recursos se encuentran lejos de los centros de consumo y en los países tercermundistas (quizás el 80%).

Los recursos renovables de esta energía serán explotados hacia el año 2.000 en una cifra de 1.150 x 10^6 Tec/año.

4.5. URANIO

Los yacimientos en todo el mundo contienen unas 984.500 Tm. que representan un toal aproximado de 9.940 x 10^9 Tec.

Este potencial supone una fuente casi inagotable de energía, lo que convierte a este recurso en la mayor esperanza de atención de necesidades futuras, dada la madurez alcanzada por su tecnología de aplicación y el ritmo de las investigaciones en curso.

4.6. ENERGIA SOLAR

El problema de su aprovechamiento es la baja concentración que, según latitud, estación anual, hora del día y condiciones meteorológicas, puede oscilar entre 100 y 200 Kcal/m^2. h. Esto hace que se precisen de 10 a 20 m^2 de superficie para cada Kw a instalar, además del inconveniente de las altas inversiones que se necesitan en la actual situación de desarrollo de su tecnología. El potencial teórico de la radiación solar es de 65×10^{12} tec/año, pero esto no es una cifra realmente significativa.

4.7. ENERGIA GEOTERMICA

El flujo de esta energía desde el interior del globo terráqueo es del orden de 0,1 Kcal/m^2.h. y da lugar a aguas termales de alta y media temperatura. Su potencial se ha estimado en 24×10^9 Tec/año.

4.8. ENERGIA MAREOMOTRIZ

Se ha utilizado a escala industrial en la costa de Bretaña (Francia) y en la URSS y requiere condiciones muy especiales de acumulación en bahías. El potencial se ha estimado en 2×10^9 Tec/año

4.9 OTROS TIPOS DE ENERGIA DE APROVECHAMIENTO "NO CONVENCIONAL" SON:

Energía Eólica: convertible en energía mecánica para usos agrícolas o rurales y también en electricidad mediante generadores aplicados a una hélice. Se limita a usos residenciales.

Gradiante Térmico: de las grandes masas de agua oceánica que aún no ha sabido aprovecharse económicamente.

Uranio contenido en el mar: se estima su potencial teórico en 14×10^{11} Tec.

Deuterio contenido en el mar: se valora su potencial teórico en 92×10^{11} Tec.

RESUMIENDO:

El consumo mundial de energía en la actualidad es, aproximadamente, $8,5 \times 10^9$ Tec/año, cifra que comparada con las reservas de las energías convencionales y con las del uranio nos da los siguientes plazos de duración:

Carbones:	9×10^{12}	:	$8,5 \times 10^9$	=	1.060 años
Petróleo :	33×10^{10}	:	$8,5 \times 10^9$	=	39 años
G.N. :	275×10^9	:	$8,5 \times 10^9$	=	32 años
Uranio :	9.940×10^9	:	$8,5 \times 10^9$	=	1.170 años

Estos períodos resultan en el supuesto de que el consumo se estancara en el nivel actual. Pero anteriormente hemos expuesto la proyección del consumo energético, habida cuenta del cual, estos plazos se re-

ducirán enormemente (recordemos la cifra de 68 x 10^9 Tec/año previstos para el año 2.040). La consecuencia importante a deducir de todo lo anterior es que hemos de administrar los recursos disponibles, consumiéndolos a un ritmo tal que demos tiempo a las tecnologías para preparar procedimientos que permitan utilizar la energía nuclear, las energías naturales y las cósmicas, de manera económica.

La importancia relativa de cada uno de los recursos convencionales no renovables se deduce al compararlos una vez transformados en unidades comunes:

Carbón	9.000 x 10^9 Tec	:	46,05	%
Petróleo	330 x "	:	1,69	"
G.N	275 x "	:	1,41	"
Uranio	9.940 x "	:	50,85	"
	19.545 x 10^9 Tec	:	100,-	%

Puede observarse que entre el carbón y el uranio representan un 97% del total de recursos mundiales no renovables.

Como ilustración se incluye un cuadro en el que aparece cada región geográfica del mundo con los recursos energéticos convencionales que posee, en unidades específicas, y los totales mundiales.

Recursos Zonas	CARBON 10^9 Tm.	%	PETROLEO 10^9	%	GAS NATURAL 10^9 Nm^3	%	URANIO 10^3 Tm.	%	RECURSOS HIDROELECT. Capacidad GW	%
Asia	97,56	16,5	53,97	59,0	12,24	23,3	3,81	0,4	140,54	25,3
Africa	15,63	2,6	12,85	14,0	5,71	10,9	272,28	27,6	145,22	26,2
Europa Occident.	65,26	11,0	1,02	1,1	4,06	7,7	56,68	5,8	50,04	9,0
Europa Orient.	198,11	33,5	8,51	9,3	17,59	33,5	-	-	52,92	9,2
América Norte	187,32	31,7	6,64	7,3	10,13	19,3	515,07	52,3	57,73	10,6
América Sur	2,80	0,5	8,30	9,1	2,11	4,0	15,68	1,6	95,63	17,4
Oceanía	24,52	4,2	0,23	0,2	0,69	1,3	120,95	12,3	12,99	2,3
TOTAL MUNDIAL	591,20	100,-	91,52	100,-	52,53	100,-	984,47	100,-	555,07	100,-

EQUIVALENCIAS ENTRE DISTINTAS UNIDADES DE ENERGIA

EQUIVALE A → / A ↓	Kilocaloria / kcal	Teracaloria / Tcal	Tonelada equivalente carbón / tec	Tonelada equivalente petroleo / tep	Julio / j	Gigajulio / Gj	Kilowatio hora / kWh	British thermal Unit / BTU
1 kcal	1	10^{-9}	$1,4286 \times 10^{-7}$	10^{-7}	4.184,2	$4,1842 \times 10^{6}$	$1,1623 \times 10^{-3}$	3,9683
1 Tcal	10^{9}	1	142,86	10^{2}	$4,1842 \times 10^{12}$	4.184,2	$1,1623 \times 10^{6}$	$3,9683 \times 10^{9}$
1 tec	7×10^{6}	7×10^{-3}	1	0,7	$2,9289 \times 10^{10}$	29,2899	8.136,1	$2,7778 \times 10^{7}$
1 tep	10^{7}	10^{-2}	1,4286	1	$4,1842 \times 10^{10}$	41,842	$1,1623 \times 10^{4}$	$3,9683 \times 10^{7}$
1 j	$2,3899 \times 10^{-4}$	$2,3899 \times 10^{-13}$	$3,4142 \times 10^{-11}$	$2,3899 \times 10^{-11}$	1	10^{-9}	$2,7778 \times 10^{-7}$	$9,4837 \times 10^{-4}$
1 Gj	$2,3899 \times 10^{5}$	$2,3899 \times 10^{-4}$	$3,4142 \times 10^{-2}$	$2,3899 \times 10^{-2}$	10^{9}	1	277,78	$9,4837 \times 10^{5}$
1 kWh	860	$8,60 \times 10^{-7}$	$1,2286 \times 10^{-4}$	$8,60 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{6}$	$3,6 \times 10^{-3}$	1	3.414,2
1 BTU	0,252	$2,52 \times 10^{-10}$	$3,6 \times 10^{-8}$	$2,52 \times 10^{-8}$	1.054,4	$1,0544 \times 10^{-6}$	$2,9289 \times 10^{-4}$	1

En el pasado, han sido la energía hidroeléctrica y el carbón las dos fuentes principales de suministro energético del país, representando entre las dos más del 75% del total hasta finales de los años 50. Posteriormente el desarrollo rapidísimo del consumo de productos petrolíferos cambió toalmente la estructura de la demanda y transformó la situación convirtiéndola en, cada vez, más dependiente de fuentes de suministro exteriores.

5.1. CONSUMO

En el período 1960-1973 el consumo total de energía en España ha crecido a razón de un 7,1% anual, y si consideramos los ocho años anteriores a la crisis del petróleo este crecimiento se acerca al 8,5%.

En el cuadro siguiente se refleja este crecimiento y se expone la transformación de la estructura del consumo

Unidad: 10^6 Tec y %

Años	Total Consumo	Carbón	%	Petróleo	%	G. N.	%	Nuclear	%	Hidráulica	%
1960	30,7	14,0	45,6	8,8	28,2	-	-	-	-	7,9	25,6
1965	41,6	14,3	34,3	19,5	47,0	-	-	-	-	7,8	18,7
1970	64,4	13,6	21,1	40,6	63,0	0,2	0,3	0,5	0,3	9,7	15,1
1973	84,3	13,8	16,4	57,3	68,0	1,1	1,3	2,1	2,5	10,0	11,8
1975	87,0	15,4	17,7	58,6	67,3	1,35	1,6	2,35	2,7	9,3	10,7
1976	92,5	14,4	15,6	66,7	72,1	1,8	1,9	2,3	2,5	7,3	7,9

Como se observa la participación del carbón se mantiene en valores absolutos pero desciende desde 45,6% a 15,6% en el período considerado. Algo parecido sucede con los recursos hidroeléctricos (25,6% a 7,9%). Por el contrario el petróleo pasa del 28,8% al 72,1%, lo que representa la mayor debilidad del sistema de abastecimiento energético español. El escaso desarrollo gasista (1,9%) es también una debilidad que, quizás, pueda atenuarse en el futuro, mediante los suministros por gasoducto desde el exterior. No se puede esperar un gran desarrollo de los recuros hidráulicos; luego la esperanza de nivelar este desequilibrio del suministro energético ha de venir, forzosamente, de mano del desarrollo de la energía nuclear, a medio plazo, al menos.

5.2. INVENTARIO

El potencial nacional energético es de poca entidad, aunque puede imaginarse una cierta transformación positiva a cuenta de los recursos nucleares.

En lo que a carbones se refiere, las reservas evaluadas son de 2.515 x 10^6 Tec., repartidos en

Antracitas: 675 Hullas: 1.378 Lignitos: 480

El inventario de petróleo es de reciente descubrimiento y su valoración no es aún reflejo de unos estudios exhaustivos, estimándose que lo conocido hasta ahora es del orden de 50 x 10^6 Tm., esperándose que los trabajos de exploración permitan aumentar estas cifras modestas.

Las reservas evaluadas de uranio para costes inferiores a 15 $/lb. de U_3O_8 son de unas 11.000 Tm. y se

estima que existen otras 8.800 Tm. más por evaluar. Para costes comprendidos entre 15 y 30$/lb. existe unas reservas de 93.500 Tm. y se cree que aún puede contarse con otras 97.800 Tm. más.

El gas natural apenas puede considerarse como recurso ya que no se han evaluado reservas apreciables.

Dentro de los recursos llamados convencionales, son considerables la energía hidroeléctrica que se ha valorado en un potencial medio de 150 Twh/año de lo que podrían ponerse en explotación un 40% (60 Twh/año), aunque ya 34 Twh/a son la producción media, quedando por tanto unos 26 Twh/a a explotar teóricamente, pero la mayor parte de ellos a precios no competitivos por las enormes inversiones a realizar.

Resumiendo este inventario nacional de recursos convencionales, se expresan los valores mencionados en unidades comunes dentro del siguiente cuadro, en el que se incluye el "coeficiente de abundancia" (c.d.a). Este valor es la relación entre el potencial específico español de cada recurso y el potencial específico mundial.

Clase de Recuros		Potencial 10^9 Tec.	Potencial %	c.d.a
Perecederos	Carbón	2,5200	0,4300	0,076.
	Petróleo	0,0700	0,0110	0,059
	Gas Natural	0,0023	0,0004	0,001
	Uranio	596,0000	99,5600	15,100
Renovables	E. Hidroeléctrica (10^9 Tec/año	0,0200	-	2,100

Dado que el consumo actual está alrededor de 99 x 10^6 Tec., caso de que las reservas antes citadas pudieran explotarse totalmente, los períodos de duración serían como máximo

Carbón. -	2.520 :	99	=	25	años
Petróleo. -	70:	99	=	8,5	meses
G.N. -	2,3 :	99	=	8	días
Uranio. -	596.000:	99	=	6.020	años

pero las reservas arriba apuntadas són explotables a que precio?. Probablemente las de petróleo serán más y economicamente utilizables en parte. De las de carbón no puede decirse lo mismo. El uranio presenta de momento los problemas de su transformación en el exterior.

Por otra parte el consumo crecerá en el futuro, por lo que los plazos de duración de cada recurso disminuyen según evolucione ese crecimiento.

El volúmen de recursos utilizados para la producción de energía en los países desarrollados y la importancia del vertido y emisión de los subproductos de desecho que genera, hace necesario el estudio conjunto de los problemas de crecimiento del sector y de protección del medio natural.

Así lo ha considerado al OCDE formulando a los países miembros una recomendación para que se examine, dentro de un contexto único, la solución del abastecimiento energético y la protección del medio ambiente.

Los recursos utilizados afectan de una u otra forma a la atmósfera, a las aguas y hasta al terreno, y por ello a los seres vivos que en él habitan. Repasemos y analicemos esta incidencia siguiendo el orden del proceso de creación de los suministros energéticos y veamos las medidas que se han de adoptar para corregir o minimizar el deterioro del medio.

Así pues, vamos a repartir los comentarios en los siguientes apartados:

- Obtención de Energía Primaria: Carbón, Petróleo, Uranio y Recuros Hidráulicos
- Transporte de los Recursos: Hidrocarburos y Combustibles Nucleares
- Producción de Energía Eléctrica: Térmicas Convencionales de carbón y fuel-oil y Térmicas Nucleares.
- Transporte y Distribución de Energía Eléctrica: Redes de Alta Tensión, Redes de Media y Baja Tensión, Estaciones Transformadoras de alta y de media

6.1. LA OBTENCION DE ENERGIA PRIMARIA

Analicemos los cuatro recursos cuya obtención presentan problemas de orden ecológico.

6.1.1. La Minería del Carbón

Presenta una preocupación especial por el gran número de explotaciones y por afectar a áreas de gran extensión. Por otra parte su repercusión es múltiple ya que afecta al paisaje y contamina el suelo, aguas y atmósfera, con mayor o menor efecto según los tipos de explotaciones:

Explotaciones Subterráneas cuyos problemas principales (escombreras - se tratan en el capítulo 5.3. - aparte) se presentan después de abandonada la explotación, ya que frecuentemente suelen inundarse de forma natural, y las aguas que se filtran contaminan los ríos próximos con polvos y granos de carbón que forman rellenos de lodo y con contenido de sulfuros y sulfatos enormente perjudiciales para la vida y vegetal y animal. Si los procedimientos de explotación han sido los de cámaras y pilares, los fuegos ocasionales que se producen destruyen éstos y provocan hundimientos que incluso repercuten en superficie, como terremotos locales. Durante el período de explotación el principal inconveniente es el polvo que se produce (y que es causa de la "silicosis" de vías respiratorias en los mineros) y la suciedad que se extiende en los alrededores, contaminando el terreno y el aire.

Las medidas que cabría tomar son:

a) Mayor utilización del método de explotación con relleno (evitando hundimientos y contaminación de las aguas de inundación)

b) Proteger los cursos fluviales del vertido de residuos.

c) Utilizar los estériles como áridos de construcción y obras civiles y en las fábricas de cemento y cerámica.

Explotaciones a Cielo Abierto son, de todas, las que ocupan mayores extensiones de terreno, 45% de toda la minería, y por tanto las que más afectan al paisaje por la cantidad de suelo removido por encima de la capa de carbón, que a veces llega a 30 veces ésta (para las hullas) o a 20 veces (para lignitos). Este procedimiento se convierte día a día en el más ventajoso, económicamente, dados los poderosos medios mecánicos de movimiento de tierras, y por ello ha de tenerse muy presente su impacto en el medio natural. Su incidencia sobre los asentamientos urbanos es irreversibles generalmente y también es importante sobre los terrenos cultivables. Además, estas explotaciones tienen los mismos inconvenientes que las subterráneas (polvo y suciedad a la atmósfera y a las aguas) pero hay que añadir en éstas el ruido de las máquinas y equipos.

Las medidas a considerar son principalmente las que incluyen reposición del terreno, particularmente si era cultivable, y la desviación de carreteras y aguas que sean afectadas. El suplemento de coste de recuperación del suelo depende de la configuración del terreno, del espesor de la capa y de la importancia de las precipitaciones de la zona, además del tipo de recuperación que se haga. Las cifras de que se dispone varían entre 400 $/Ha y 16.500 $/Ha. Su repercusión sobre la tonelada de carbón depende del espesor de la vena (relación volúmen de carbón sacado por superficie removida) y también, aunque menos, de la capa de terreno muerto, arrojando un valor (de 1%, 4% y 8%) que, en la mayoría de los casos, es inferior al 5% del valor de venta del combustible . En algunos casos esta recuperación no es posible por tener la explotación una pendiente muy acusada (más del 20%) o por realizarse en zonas muy áridas. Un índice de coste muy interesante es el que resulta de determinar el % de energía consumida en la restauración del terreno con relación a la energía contenida en el carbón: generalmente es inferior a 0,06% .

6.1.2 Las Explotaciones Petrolíferas

Los esfuerzos de prospección y explotación de yacimientos de hidrocarburos se centran, en lo que a Europa Occidental se refiere, en la plataforma continental próxima a las costas (Cantábrico, Mediterráneo, etc) o en explotaciones submarinas en mar abierto (Mar del Norte), siendo menos frecuentes o importantes las explotaciones en tierra.

A medida que ha ido cobrando importancia aquel tipo de actividades, se ha tomado conciencia de los riesgos que suponen para el medio ambiente estos yacimientos submarinos en explotación, ya que se han producido una serie de escapes y vertidos de hidrocarburos procedentes de accidentes, que constituyen una grave contaminación de mares y costas. Estos derrames de hidrocarburos son un fenómeno de consecuencias muy similares tanto si provienen de accidentes en las plataformas de perforación como si resultan de colisiones o encallamientos de buques-tanques; por ello su incidencia se deja para el capítulo de Transportes. Queda aquí únicamente por mencionar los posibles efectos en zonas costeras próximas a las perforaciones que tienen sobre la población la utilización del suelo y las interferencias con otras actividades sociales y económicas que presentan las instalaciones, servicios y personal de las Compañías explotadoras del yacimiento.

Las explotaciones en tierra presentan perjuicios para el paisaje debido a sus instalaciones (torres, perforadoras, etc) y contaminación de las aguas por salmueras que suelen acompañar a muchos yacimientos y también de los suelos por los cienos y detritus que se ocasionan.

6.1.3. La Minería del Uranio

Además de la incidencia en el medio propia de toda minería metálica (contaminación de la atmósfera, etc.) tiene un aspecto especial por la radiactividad natural del mineral. Produce también un gran movimiento de tierras, ya que la concentración del mineral en contenido es muy pequeño y además está muy diseminado en el terreno que hay que remover. Para una central de 1.000 MWe se necesitan unas 200 Tm/año U_3O_8 para lo que se precisa extraer 3.000.000 Tm de montera.

La minería puede ser subterránea o a cielo abierto. En la primera es importante la buena ventilación para eliminar el radón 222 ambiental y las partículas de radio 226 en polvo. Existe igualmente el riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Resumiendo, en esta etapa del ciclo del combustible los contaminantes radiactivos son:

Contaminantes	Período de actividad
Radón (Rn 222)	3,8 días
Uranio (U 238 y U 235)	$4,5 \cdot 10^9$ y $7,1 \cdot 10^8$ años
Radio (Ra 226)	$1,6 \; 10^3$ años
(y también isótopos del Torio)	

6.1.4. La Captación de Recursos Hidráulicos

El aprovechamiento energético del agua exige transformaciones irreversibles (embalses, presas, azudes, canales, galerías, tuberías forzadas, etc.) que modifican sustancialmente el curso de los ríos. En España la creación de una capacidad de embalsado superior a $42.000 \cdot 10^6$ m^3 ha creado costas interiores de un perímetro superior a las marítimas. Su incidencia ha sido de balance positivo; sin embargo la transformación de condiciones locales, con modificaciones que afectan a las poblaciones asentadas en los parajes próximos, e incluso la desaparición de aldeas o municipios, tiene una incidencia social que puede ser muy importante aunque quede circunscrita físicamente a la zona. Otros efectos de carácter biológico y geoquímico han de considerarse igualmente; veamos cúales son

a) Alteraciones de la naturaleza de orden físico: la laminación de avenidas ha evitado inundaciones y la erosión producida por las riadas; la acumulación de acarreos en las colas de los embalses presenta menos problemas que la profundización del cauce aguas abajo (alguna erosión por falta de limo y arrastres); aportación de $2'3 \cdot 10^6$ Ha al cultivo en regadío contrarresta las zonas inundadas, a veces estériles o poco accesibles; la elevación del nivel de agua en el embalse o río produce la elevación del nivel freático de su zona, incrementándose la reserva de acuíferos adyacentes; embellecimiento de zonas y utilización de las mismas que le ha añadido valor social (deportes, pesca, recreo); suavización del clima en las zonas de los grandes embalses por la regulación de la temperatura debido al poder calorífico del agua, incluso brisas; favorecen la limpieza del agua por sedimentación de materias y por limpieza mecánica en las rejillas de las tomas de las flotantes o en suspensión.

b) Alteraciones biológicas y geoquímicas: la variación de velocidad de las corrientes acuáticas modifica la oxigenación de lechos y márgenes del cauce, lo que, aguas arriba y en el propio embalse, puede aumentar la sedimentación de vertidos contaminados procedentes de urbanizaciones o industrias; pero la regulación de caudales, aguas abajo, permite el transporte y reoxigenación de materias que, sin el caudal mínimo proporcionado en el estiaje y sequías, contaminaría las aguas estancadas; se producen algunas veces

cambios en la calidad del agua por la actividad de bacterias y en su contenido de nutrientes (compuestos de N y P); el aumento en la concentración de N2 es perjudicial para algunas especies; en ocasiones proliferan algas (dificultades de navegación) e insectos (enfermedades: paludismo, esquistosomiasis); las alteraciones en el curso del río pueden perjudicar a algunas especies (trucha, salmón) para lo que se hace preciso construir en las presas "escaleras de agua" e incluso repoblación de especies en los embalses o traslado a parques nacionales si está en peligro su superviviencia; en las explotaciones con bombeo, éste produce efectos ecológicos favorables al romper la estratificación térmica, favoreciendo la oxigenación.

c) Alteraciones sobre las obras del hombre como las que suponen modificaciones o desaparición de carreteras, poblados y obras de carácter artístico-histórico, que a veces son sustituídos por otros generalmente de mejor calidad (carreteras o poblados) y traslados e incluso recuperación de monumentos históricos expuestos a la ruina y abandono; aguas abajo pueden producirse erosiones en los campos, inundaciones y encharcamiento de caminos y cultivos; siempre hay que considerar el riesgo remoto de rotura de la presa, con sus catastróficas consecuencias.

6.2. TRASIEGO Y TRANSPORTE DE RECURSOS

Los aspectos que pueden influir más acusadamente en la degradación del medio ambiente a causa de accidentes u operaciones incorrectas durante el movimiento y trasporte de combustibles se refiere a :

1. Crudos y derivados del petróleo

2. Gases licuados del petróleo y gas natural

3. Combustibles radiactivos

El desarrollo tecnológico de los transportes de crudos y derivados del petróleo puede considerarse suficientemente, sin embargo han ocurrido y ocurren accidentes importantes.

La repercusión de los gases licuados del petróleo y gas natural es de relativa menor importancia si dejamos a un lado los riesgos de explosión, fuego, etc.

Si alguna fuente de energía ha sido estudiada exhaustivamente, cara a los riesgos de contaminación, es la energía nuclear, de manera que es la que tiene menos probabilidades de accidentes. Sin embargo la posible gravedad de los mismos y el prolongado plazo de sus consecuencias imprime un carácter de alerta permanente a todo lo que se refiere a manejo de materiales radiactivos.

Estudiemos cada uno de estos tres recursos desde el punto de vista de su movimiento y los riesgos que imprimen.

6.2.1 Trasiego y Transporte de hidrocarburos líquidos

Los vertidos mundiales de productos petrolíferos en los océanos han sido evaluados por diversas instituciones de investigación norteamericanas, en los períodos 1969-70 y 1972-73. En estos estudios se han recogido operaciones terrestres (refinería, industrias, desperdicios urbanos, etc), operaciones marinas de superficie (terminales de carga y descarga, limpieza de tanques, accidentes de buques, etc.) y operaciones de explotaciones submarinas (crudos y gas natural).

Las operaciones que suponen una mayor probabilidad de accidentes son las de carga y descarga de hidrocarburos y los deslastres de buques-tanques. Aquellas representan alrededor de 1% y éstas el 20% del total de vertidos al mar.

Este tipo de vertidos pertenece a lo que ha dado en llamarse "contaminación leve" porque cada derrame representa un volúmen reducido, aunque el número de ellos es muy elevado. El conjunto de estos vertidos se ha estimado entre 1.4000.000 y 1.580.000 Tm/año, de las que forman parte los vertidos de todo tipo de operaciones marinas relacionadas con los petroleros.

Las "contaminaciones masivas" debidas a naufragios, colisiones o encalladuras de buques-tanques y averías en las plataformas de perforaciones submarinas han representado, en los período s' estudiados, el 6% del total de vertidos; es decir, volúmenes de contaminación del orden de las 300.000 Tm/año.

La cifra total de vertidos es de unos 5.000.000 Tm/año que van a parar a los océanos por uno u otro camino.

La trascendencia de estos vertidos y derrames se puede estimar según las características y circunstancias de cada uno de ellos, entre las que hay que destacar:

a) tipo de hidrocarburos derramados; esta característica queda definida por la "persistencia" y por la "densidad". Los vertidos persistentes son los de crudos, fuel-oil, diesel-oil pesado, lubricantes y demás productos que, el 50%, tienen un punto de destilación por encima de 340° C. El resto de productos petrolíferos (gasolinas, naftas, kerosenos, gasóleos) se consideran no persistentes. En cuanto a los productos que se emplean para dispersar estos vertidos, tiene gran importancia la densidad de los hidrocarburos, pues las cantidades necesarias de aquellos aumentan al aumentar las densidades.

b) lugar del derrame; ya que los medios a emplear para combatirlo dependen de que éste se haya realizado en mar abierto, en la proximidad de la costa y de que ésta sea zona de playas, zona portuaria u otra.

c) volúmen y extensión del vertido; leve o grave según las consecuencias y la importancia de los medios a utilizar.

Efectos de la contaminación del mar por hidrocarburos. Los vertidos leves o graves (es decir, ordinarios, muy frecuentes y de poco volúmen, o accidentales, poco frecuentes y de gran volúmen) tienen consecuencias en ciertos aspectos similares, pero con diferencias sustanciales. Dada la espectacularidad de los segundos, han sido objeto de estudio más sistemático. Unos y otros repercuten en los aspectos siguientes:

- Disminución del valor estético y económico del mar y la costa (suciedad de playas, embarcaciones, artes de pesca, obras marítimas, etc.).

- Contaminación de fauna y flora acuáticas y de las aves marinas. Ello trae como consecuencia modificaciones en el ecosistema por eliminación de algunas especies, deterioro de los recursos de pesca y dificultades en la recolonización de algunos moluscos y otros organismos marinos.

- Deterioro del sabor y olor de algunos seres vivos que sirven de alimento humano que, ocasionalmente, puede representar un perjuicio para la salud de quien los ingiera. Algunas de estas especies (ostras, mejillones, almejas, etc.)viven normalmente en las aguas contaminadas. Esta resistencia favorece la comercialización incontrolada con los riesgos antes mencionados.

En otras ocasiones la desaparición de ciertas especies animales depredadoras favorece la multiplicación de algas y plantas marinas de forma espectacular. Pero indudablemente los efectos más perniciosos tienen lugar sobre aquellos seres que transitoriamente o permanentemente son flotantes y los que más sedentarios o fijos habitan en el nivel de las aguas.

Los efectos sobre la disminución del oxígeno disuelto en el agua, dependen del espesor de la capa de hidrocarburos que flota sobre ella, habiéndose observado que, cuando forman una fina película, la transferencia de oxígeno queda favorecida, ya que éste es más solubre en algunos hidrocarburos que en el agua.

Permanencia, desplazamientos y cambios de composición de los vertidos. La composición química del petróleo derramado y la cantidad vertida no son solamente los factores que influyen en la permanencia de los hidrocarburos en el mar, sino que la temperatura del agua, sus corrientes y profundidad, los vientos dominantes y la distancia a la costa son también motivos de que las consecuencias sean de mayor o menor importancia.

Si el derrame se produce cerca de la costa suele ser arrastrado a ella antes de que varíe su composición química. Los resultados en las playas y rocas depende de su constitución geológica y del régimen de mareas y oleaje.

Si la permanencia en mar abierto es larga la evaporación de las fracciones más volátiles y la oxidación del resto producen unos cambios en la composición del vertido que han dado en llamarse "envejecimiento" del petróleo. Estos cambios de composición se realizan más lentamente cuando el vertido es importante, ya que entonces suelen formarse pequeñas "islas" flotantes que son poco afectadas por su coherencia y propiedades hidrófobas. Las emulsiones, aglomerados sobre sólidos y películas finas son más fácilmente descompuestos por los agentes atmosféricos (luz, oxígeno del aire, calor) y biológicos (bacterias).

La lucha contra la contaminación del mar por hidrocarburos. Las medidas que tratan de paliar los efectos de los derrames de petróleo en el mar son de carácter preventivo unas y correctivo otras. Las primeras van dirigidas principalmente a evitar la llamada contaminación leve producida por los vertidos ocasionales de menor importancia y sobre todo por las limpiezas de tanques y deslastres de petróleros. Las segundas se refieren al ataque de las contaminaciones masivas producidas en naufragios o en los accidentes de las plataformas de perforación, terminales carga y descarga y otras, con gran volúmen de derrame.

Como medidas preventiva en España han de señalarse todas las disposiciones relacionadas con el "Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación de las Aguas del Mar por Hidrocarburos". En este convenio de 1954, con las enmiendas de 1962, se establecen las "Zonas Prohibidas" en las que no se permite la descarga de hidrocarburos o mezclas de hidrocarburos, a los buques matriculados en los territorios de los gobiernos firmantes. Son zonas prohibidas las 50 millas de mar más próximas a tierra y además dieciseis zonas más definidas perfectamente en las correspondientes cartas marinas. La "Zonas Española" comprende la del Océano Atlántico hasta las 100 millas de la costa. También es zona prohibida de 100 millas la correspondiente a la costa mediterránea.

Además de establer las zonas prohibidas el convenio insta a los gobiernos a la creación, en los puestos y terminales de carga de hidrocarburos, de instalaciones capaces de recibir los resíduos y mezclas de hidrocarburos. Esto es aplicable a las refinerías, plantas de asfalto y astilleros donde se reparan petroleros,

si en los lastrados y descargas no existen tales instalaciones.

Los lastrados y descargas de aguas de lastre, las limpiezas de tanques, descarga de resíduos y los escapes accidentales o excepcionales de los petroleros y otros buques, han de ser reflejados en un libro de Registro de Hidrocarburos, según el modelo establecido en el Convenio, a fín de poder ser inspeccionado en los momentos oportunos.

Los buques modernos, petroleros y no, deben estar dotados de un tanque con la capacidad necesaria para recoger los resíduos de limpieza de sus tanques de carga y de combustibles, después de haber separado la mayor parte de agua de la mezcla. En la industria petrolífera se utiliza el procedimiento "load on top" mediante el cual se carga el nuevo petróleo crudo sobre los resíduos del tanque de recuperación, con lo cual se evita el vertido de resíduos al mar.

En el caso de vertidos masivos, los procedimientos de tratamiento menos perjudiciales son los de recogida, bien mecánicamente mediante cercos y boyas con manguera de aspiración, o mediante espumantes, pero pierden eficacia si el derrame está situado en corrientes de velocidad superior a 1 nudo o en zonas de oleajes de altura superior a 1 metro. Los absorbentes presentan dificultades en el momento de la recogida.

En diferentes ocasiones se han empleado detergentes, arena carbonizada, carbonato de cal, creta con esterato y paja, silicato de sodio, y en mar abierto no se han observado perjuicios para la vida marina, pero los detergentes pueden prolongar el plazo durante el cual la fauna del fondo puede ser perjudicada. Las proporciones de productos absorbentes baratos para tratar estos derrames son muy grandes (3 grs. de arena carbonizada absorben 1 ml. de crudo) y por tanto presentan grandes dificultades para su aplicación en el mar.

La utilización de dispersantes es eficaz pero son agentes destructores de la vida animal, aunque en los últimos tiempos se fabrican algunos preparados de muy baja toxicidad. Detergentes y dispersantes han sido regulados en su empleo y propiedades a fín de evitar los perjuicios sobre la fauna y flora marinas, que en ocasiones podrían llegar a ser superiores a los efectos del petróleo.

Si el lugar del vertido lo permite y se puede actuar con gran rapidez, quemar el derrame es el procedimiento más eficaz para combatir la contaminación, pero no es factible en muchos casos.

Algunos productos absorbentes en su contacto con el vertido dan aglomerado menos denso que el agua, que es posible recoger e incendiar posteriormente. Alguno de estos productos llega a absorber hasta seis veces su peso.

Cuando el petróleo ha llegado a las costas, la limpieza mecánica y el empleo de detergentes son los procedimientos utilizados.

Si el derrame ha tenido lugar en el interior de un puerto o bahía de aguas tranquilas el cerco y aspiración es lo más indicado. En mar abierto sólo los detergentes y absorbentes son eficaces, si no se ha podido quemar.

Si el accidente tiene lugar en los trabajos de perforaciones submarinas (erupciones, averías en válvulas, etc) es preciso, algunas veces, realizar una nueva perforación direccional para conseguir controlar el pozo. Esto supone un coste muy elevado. En valoraciones realizadas por compañías americanas en el Golfo

de Méjico se han calculado gastos de 10 a 30 millones de dólares, de los que una parte muy importante pertenece al coste de perforaciones de control.

El coste de la limpieza de la capa de hidrocarburos derramados es muy variable y se han realizado algunos estudios económicos en función de la importancia del vertido y del método de limpieza utilizado. Estos estudios, lejos de ser exhaustivos, han dado unas cifras que pueden tener el carácter de estimaciones orientativas. En el cuadro siguiente se representan los valores del coste de limpieza para dos volúmenes de vertido y diferentes métodos utilizados, separándose de los costes directos (materiales empleados e intervención), los costes de inversión (equipo y almacenamiento):

Unidad: $ USA

	Vertido de 340 Tm		Vertido de 35.000 Tm	
Procedimiento	Costes directos	Costes de inversión	Costes directos	Costes de inversión
Dispersión química	80.000	51.600	6.200.000	862.500
Absorción (paja)	113.000	79.300	8.625.000	1.405.000
Hundimiento	64.900	56.600	4.505.000	1.385.000
Combustión	82.200	49.500	6.171.000	675.000

6.2.2 Transporte de combustibles nucleares

El trasiego y transporte de materiales radiactivos compor ta riesgo de contaminación del medio ambiente debido a:

- las posibilidades de criticidad
- las radiaciones emitidas
- la producción de calor en el proceso de radiación
- la toxicidad de los mismos.

Los aspectos más destacables de los transportes de las sustancias radiactivas a través de varios países, se han abordado en un Reglamento de ámbito internacional, por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que establece las normas de diseño y fabricación de contenedores a utilizar para cada sustancia transportada en función de su peligrosidad y las autorizaciones necesarias para su transporte.

Transportes convencionales. El movimiento de concentrados de uranio de bocamina a la planta de conversión en hexafluoruro se realiza en bidones estancos de 200 l. y no presenta problemas especiales, pudiéndose realizar por camión, ferrocarril o barco. Sólo afectan al territorio nacional aquellos que se dirigen al exterior como son los concentrados que se envían a Francia para cubrir las necesidades de Vandellós.

El transporte de hexafluoruro de uranio natural de las plantas de conversión a las de enriquecimiento ha sido exterior al territorio nacional y así seguirá sucediendo, salvo circunstancias muy especiales, al no estar previstas plantas de este tipo en suelo español. Por otra parte, este transporte tampoco presenta requerimientos especiales, realizándose en contenedores a presión de hasta 15 Tm sobre cualquier medio de transporte terrestre o marítimo.

Transportes especiales. El hexafluoruro de uranio enriquecido transportado desde la planta de enriqueci-

miento a la de fabricación, también se ha realizado, hasta ahora, fuera del territorio nacional. En el futuro, cuando ENUSA esté en condiciones de realizar la conversión a óxido o si se decide la creación de stocks de seguridad estos transportes afectarán a suelo español. Existiendo riesgo de criticidad, se realizan en vasijas de acero apresión, con una capacidad máxima de 2'2 Tm de combustibles comerciales (hasta 5% de U.235), provistas de una estructura amortiguadora de golpes y aislamiento, que protege a la vasija de accidentes y asegura una distancia mínima entre contenedores. En estas condiciones el medio de transporte puede ser convencional.

Caso de no estar integrado todo el proceso de fabricación del elemento combustible en una misma factoría se producen transportes entre una y otra planta de dióxido de uranio en pastilla o polvo, varillas combustibles y elementos combustibles. Hasta el presente estos transportes no han afectado al suelo español, pero en el futuro, la introducción de ENUSA en el mercado de fabricación obligará a efectuar este tipo de transporte durante algún tiempo. El transporte de elementos combustibles nuevos ha de realizarse con atención a las vibraciones y golpes que pueden dañarlos. Además, por razones de criticidad, estos elementos han de ir instalados en contenedores estancos, presurizados y con absorbente neutrónico, y montados sobre dispositivos amortiguadores. El número de elementos por contenedor no suele ser mayor de dos y también se suele limitar el número de contenedores por embarque. En estas condiciones se emplea cualquier medio de transporte, incluído el avión.

Las previsiones de evolución de la potencia nuclear instalada en España para 1985 obligará a realizar el transporte de unos 2.500 elementos combustibles de la planta de ENUSA a las Centrales (aproximadamente igual cantidad de PWR que de BWR).

El transporte de elementos combustibles irradiados es el que presenta mayores dificultades, porque a los problemas de criticidad se añade, por una parte, los derivados de la alta actividad y del calor residual del elemento combustible y, por otra, la de contaminación del contenedor al entrar en contacto con las piscinas de almacenamiento. Por ello, los contenedores han de llevar absorbentes neutrónicos, blindaje de plomo o uranio empobrecido, blindaje neutrónico, elementos de disipación de calor y elementos de alivio controlado de presión, lo cual les convierte en muy pesados y caros y, a veces escasos. Las previsiones de transporte para 1985 son de 1.000 elementos combustibles irradiados. Estos transportes se han venido realizando en España desde las centrales José Cabrera y Sta. Mª de Garoña hacia las plantas de reprocesamiento en Windscale (Inglaterra) y desde Vandellós a Marcoule (Francia), por carretera, ferrocarril y mar, sin mayores dificultades que poder contar con los contenedores necesarios. En el futuro la dotación de mayor capacidad de piscinas de almacenamiento previstas por ENUSA aliviará a las centrales, que entren en servicio después de 1980, del problema que representa retirar el combustible irradiado tras su descarga del reactor, contando con escaso número de contenedores.

El movimiento de hexafluoruro de uranio recuperado tras el reprocesamiento a la planta de enriquecimiento o a la de fabricación, no presenta mayores problemas que el uranio natural o enriquecido.

El transporte de plutonio presenta ya mayores problemas y requiere contenedores especiales (tipo B). Este tipo de transporte no ha afectado a suelo español hasta el presente ni lo hará en el período abarcado por el PEN, ya que el combustible nacional no se reprocesará antes de 1987 y en el reprocesado anteriormente, perteneciente a José Cabrera y Vandellós, se han vendido los productos recuperados a los reprocesadores.

En las distintas fases del ciclo del combustible nuclear se producen residuos radiactivos sólidos, líquidos y gaseosos. En las centrales nucleares únicamente se producen los de baja y medio actividad. Los de alta

actividad únicamente se producen en las planta de reprocesamiento. Los resíduos gaseosos después de filtraciones y períodos de decaimiento, dada su baja actividad, se descargan directamente a la atmósfera, cuidando los estrictos límites establecidos. Igualmente los resíduos líquidos de baja actividad se vierte al río o mar previamente diluídos y cuidando los límites fijados. Los productos de medio actividad, tanto líquidos como sólidos, se almacenan en recipientes adecuados, concentrando y solidificando previamente los primeros. Este almacenamiento se realiza primeramente en las propias instalaciones pero posteriormente se -- transportarán a los almacenes nacionales acondicionados al efecto. De momento los resíduos de las tres centrales españolas en operación, permanecen en bidones metálicos revestidos interiormente de hormigón, aptos para el transporte, almacenados en los depósitos de las propias centrales, en tanto se acondiciona su - almacenamiento definitivo en Sierra Albarrana (Córdoba). Teniendo en menta la previsión de potencia nuclear instalada en 1985, se hará necesario transportar unos 10.000 bidones de 220 l, ya que una central de LWR de 1.000 MW produce entre 60 y 100 Tm/año de resíduos.

6.3. TRATAMIENTO DE LOS RECURSOS

En esta etapa del proceso energético se presentan problemas ecológicos en tres tipos de recursos.

6.3.1. Combustibles Fósiles Sólidos

Los lavaderos de carbones emplean 1'5 Tm de agua por cada Tm de carbón tratada. De ella el 24% de carbón aproximadamente se evacua con el agua, y de este la mitad es polvo. Este agua con resíduos e impurezas se recoge y trata para recuperar el carbón y limpiarla antes de evacuarla, pero pese a ello gran parte de la suciedad y polvo de carbón va a parar a los ríos próximos donde se decanta en los remansos. En las operaciones de estriado, calibrado y reparación de impurezas se produce, además de polvo, mucho ruido, agentes ambos de "contaminación" de la atmósfera. Pero los efectos más importantes dentro de esta actividad son los que producen las enormes escombreras que representan una degradación del paisaje y utilizan extensiones importantes de terreno. Además son origen de incendios con despendimiento de CO_x, SO_x y NO_x. En las zonas áridas o en las estaciones secas el viento esparce estos residuos contaminando la atmósfera y el suelo. En las zonas de abundantes precipitaciones o en las estaciones húmedas, se empapan de agua de lluvia o nieve fundida produciendo desprendimientos y forman lodos que encharcan el terreno y rellenan los ríos próximos; estos resíduos suelen contener dirivados de azufre que contaminan de ácidos las aguas de estos ríos con grave perjuicio para la vida vegetal y animal.

Estos inconvenientes se presentan tanto en explotaciones subterráneas como a cielo abierto y han de ser - evitados con medidas adecuadas que no suelen representar importantes inversiones pero sí un incremento de los costes de operación. Tales medidas consisten esencialmente en proyectar la explotación con espacios y perfiles adecuados evitando los riesgos de inestabilidad y cubrir las escombreras de manera que se impida la acción del viento y la lluvia sobre ellas, lo cual hace disminuir también el riesgo de su incendio. Como ya se ha advertido en otro lugar es fundamental proteger los cursos fluviales del arrastre de escombros y suprimir el vertido de desechos en los mismos. En ocasiones, los estériles de esta procedencia se pueden utilizar como áridos en construcción y obras civiles y también en fábricas de cemento y cerámicas.

6.3.2. Crudos de Petróleo

El refino de los crudos produce diferentes tipos de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos, entre los que se pueden citar los compuestos de azufre y vanadio, fanoles, hidrocarburos clorados, óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, etc. cada uno de los cuales representa un tipo de incidencia diferente en el am-

biente (aguas y atmósfera). Existe además en las proximidades de las refinerías contaminación por malos olores procedentes del sulfuro de hidrógeno y de los mercaptanos.

De los agentes antes citados los tres que hay que tener más en consideración son los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y azufre y principalmente estos últimos. Se han calculado los valores de emisión atmosférica en los últimos años, por parte de las refinerías españolas, lo que se refleja en el cuadro siguiente para SOx y NOx

Años	Producción 10^6 Tm/a	Emisión a la atmósfera (Tm) SOx	NOx	Suma
1970	32,6	77.410	16.190	93.609
1975	40,5	94.280(1)	20.432	173.712

Se dispone de datos de algunos casos americanos, uno de los cuales añadimos a continuación

1.974	9,0	3.740	4.360	8.100

6.3.3. Combustibles Nucleares

Los procesos de concentración, conversión, enriquecimiento y fabricación de elementos combustibles, producen una gran proporción de "resíduos". Para concentrar 100.000 Tm de mineral, que precisa una central de 1.000 MWe, se necesita utilizar unas 250.000 Tm de agua. El 90% del mineral natural vuelve al resíduo que termina en los vertederos. En la conversión y enriquecimiento pueden presentarse problemas por los escapes y fugas que producen radiactividad y toxicidad. La recuperación del combustible irradiado produce resíduos de alta, media y baja actividad, tanto gaseosos como líquidos y sólidos.

En el caso español estos resíduos no se producen en la actualidad por no poseer aún plantas fabriles de dichos tratamientos (solamente concentrados en Ciudad Rodrigo y Andújar), pero en un futuro próximo ENUSA pondrá en funcionamiento una de éstas.

6.4. PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

La transformación de la energía primaria en electricidad tiene una incidencia sobre el medio ambiente muy diferente según el tipo de recursos de que se parta: Energía Hidráulica, Carbón, Fuel-oil, Gas Natural o Uranio.

Las alteraciones del medio que producen los aprovechamientos hidroeléctricos no corresponden casi en absoluto al propio funcionamiento, sino que, en su mayor parte son efecto de la construcción e instalación de la Central Hidroeléctrica y esto ha sido ya comentado en el apartado 6.1.

6.4.1. Centrales de Combustibles Fósiles

Sea cual fuere el recurso primario utilizado (carbón, petróleo, gas natural), todas extraen su enegía mediante combustión que general productos de desecho gaseosos y sólidos, en mayor o menor proporción, los cuales son evacuados al medio ambiente. Por otra parte, como el rendimiento de la transformación está limitado por las propias leyes termodinámicas (normalmente entre 37 y 40%), gran parte de la energía ca

lorífica no es aprovechable y ha de evacuarse por la chimenea y por el circuito de refrigeración. Existe aún una cuarta contaminación de menos entidad pero que no ha de olvidarse: se trata de la contaminación de las aguas por vertidos líquidos de los equipos de tratamiento del circuito de refrigeración o vertidos de hidrocarburos. En resumen se presentan los siguientes tipos de contaminantes:

- Gases de combustión (Oxidos de azufre, nitrógeno, carbono, hidrocarburos no quemados, etc.)
- Líquidos vertidos (Hidrocarburos, productos de tratamiento de aguas)
- Polvos, cenizas (Residuales de combustión)
- Contaminación térmica (Por chimenea y por refrigerante)

De ellos los que revisten mayor importancia son los resíduos que salen por chimenea.

La entidad de estos resíduos se hace patente en el cuadro siguiente, en el que se recogen los datos de centrales térmicas, alimentadas por diferentes combustibles, pero de similar potencia:

Centrales de 1.000 MW alimentadas por:	Emisión Anual de Contaminantes				
	Partículas	SOx	NOx	CO	Hidrocarburos.
$2,30 \times 10^6$ Tm/a de CARBON de 35% de azufre (15% de este permanece en cenizas). El 9% del carbón permanece en cenizas. La separación de cenizas volantes es del 97,5%	4,490	139,000	20,88	0,210	0,52
$1,57 \times 10^6$ Tm/a de FUEL OIL de 1,6% de azufre y 0,05% de cenizas	0,730	52,660	21,70	0,008	0,67
$1,90 \times 10^9$ Nm^3/a de GAS	0,046	0,012	12,08	Insignificante	Insignificante

Comentamos brevemente estos contaminantes:

a) Oxidos de azufre. - Alrededor de 93 millones de toneladas al año es la emisión de SOx a la atmósfera de las cuales el 70% (65×10^6 Tm/a) proceden de centrales térmicas alimentadas con combustibles fósiles. La emisión prevista para 1980 en Europa es de $27,4 \times 10^6$ Tm de SO_3.

Cabe reseñar aquí que los efectos de los contaminantes de las centrales termoeléctricas son menos graves que los de otras fuentes (usos domésticos, pequeña industria) por emitirse a gran altura, debido a las grandes chimeneas que dispersan y diluyen eficazmente los gases de combustión; lo que tiene por efecto reducir las concentraciones a nivel del suelo. Este aspecto a nivel local no hace desaparecer la sospecha de que a grandes distancias la contaminación atmosférica por SO_2, emitido a gran altura, aumente la acidez de las lluvias (en Escandinavia se ha medido, en lluvia, acidez muy elevada debido a emisiones a gran altura en Europa Occidental).

Ha de tenerse en cuenta que todos los efectos del SO_2 vertido a la atmósfera tienen carácter de incidencias locales ya que en la naturaleza hay un ciclo natural de azufre en el que se libera SH_2 por descomposición orgánica y por fuentes geológicas, que se oxida y es absorbido por las aguas y terrenos. Esta circulación natural de los óxidos de azufre es mucho más importante que lo aportado artificialmente por la combustión de recursos energéticos. Sin embargo, esta última tiene mayor trascendencia local.

Las medidas a tomar para evitar o reducir la emisión de los óxidos de azufre, en aquellos casos en que la dispersión a gran altura no es suficiente, son las siguientes:

- Empleo de combustibles de bajo contenido en azufre (gas natural, derivados del petróleo desulfurados, carbones desulfurados). Dado que estos combustibles naturales bajos en azufre son escasos, es preciso desulfurar otros antes de ser empleados, lo que es posible económicamente en los derivados medios y ligeros del petróleo, y en los carbones por lavado, hasta ciertas proporciones. Otros procedimientos en estudio son la gasificación de carbones e incluso la fabricación de hidrocarburos sintéticos, de manera que resulten rentables. El empleo de los combustibles desulfurados debe ser selectivo, dado su mayor costo, para zonas o circunstancias meteorológicas que lo precisen.

- Desulfuración de los gases de combustión (por vía húmeda o vía seca). Se consiguen eficaces entre el 80 y 95%, pero no suelen emplearse todavía sitemáticamente en las grandes instalaciones de combustión de carbón rico en azufre, esperándose que la tecnología brinde soluciones en los próximos años.

- Eliminación del azufre durante la combustión (en lecho fluidizado de caliza o dolomita) en las que el azufre permanece en los resíduos sólidos. Este procedimiento está aún en período de investigación para su -- aplicación a nivel industrial.

b) Oxídos de nitrógeno. - Cerca de 20 millones de toneladas anuales es la emisión del N0x en los países de la OCDE y se prevé que para 1980 esta cifra habrá aumentado si no se toman las medidas pertinentes. Lo mismo que sucede con los óxidos de azufre, la mayor fuente de N0x es de origen biológico, que produce - unos 450 millones de toneladas anuales; pero los riesgos y problemas aparecen por la mayor concentración en zonas urbanas (10 a 100 veces mayor que en zonas rurales).

La emisión de N0x a la atmósfera por las centrales térmicas es debido a la formación de N0 en la combustión a alta temperatura y exceso de aire. Estas dos causas principales son las que permiten tomar las medidas oportunas para disminuir la emisión, en las centrales térmicas, del N0 y $N0_2$.

- Reducir la temperatura de la llama en los hogares de las calderas y en los quemadores.

- Disminuir la disponibilidad de aire a lo estrictamente necesario para la combustión.

c) Oxidos de carbono. - Se ha calculado que las emisiones mundiales de monóxido de carbono (CO) suponen unos 200 millones de toneladas al año y que estas no producen aumento de su concentración en la atmósfera ya que se oxida por radicales HOy se elimina por transformaciones metabólicas naturales mediante los microorganismos del suelo, produciendo CO_2 y CH_4. Así pues, al igual que los anteriores contaminantes citados, el CO evacuado por las actividades humanas tiene poca trascendencia mundial y el peligro que representa para el transporte de oxígeno a la sangre, por parte de la hemoglobina (con la que es mucho más afín que el oxígeno), es de carácter local en zonas urbanas de gran densidad de tráfico, túneles, etc.

Un estudio realizado en Estados Unidos ha dado las siguientes estimaciones de emisión de CO procedentes de diferentes fuentes contaminantes:

Fuente	Emisión de CO (10^6 Tm/año)	%
Transporte	101,0	73,7
Combustión Fuente Estacionaria	1,6	1,2
Procesos Industriales	10,8	7,9
Otras	23,7	17,2
Total anual	137,1	100,-

La emisión de CO por parte de las centrales térmicas de combustibles fósiles es únicamente debido a una mala regulación de la combustión y por tanto no representa problemas de importancia por su producción ocasional, ya que es un signo de ineficacia que el control riguroso de estos procesos no da lugar a repetirse fácilmente.

El dióxido de carbono (CO_2) es el producto gaseosos normal de la combustión, tanto del carbón como del fuel oil o del gas natural, y solo puede considerarse como contaminante si sigue aumentando, aunque muy lentamente, su proporción en la atmósfera (10% en los últimos 100 años). Este aumento, se teme que pueda producir, si continúa, un desequilibrio térmico de la atmósfera, a largo plazo, y sin embargo otros estudios de carácter agronómico demuestran que hará falta enormes cantidades de CO_2 para estimular el crecimiento de algunas plantas; por lo que el problemas aún no está demasiado claro.

d) Cenizas y otras partículas volátiles. - Las cenizas que contienen el combustible quemado se depositan en el fondo del hogar en su mayor parte, pero una determinada proporción es arrastrada por los gases de combustión. Las reacciones químicas que se producen en este proceso originan también partículas finas que permanecen en suspensión en los gases y a las que, a veces, van asociados elementos metálicos liberados en la combustión. Estas partículas producen dos efectos de degradación de la atmósfera; uno reducir la visibilidad y otro, aún más importante, es producir directamente efectos adversos en la salud y actuar enérgeticamente con el SO_2 y otros contaminantes produciendo mayores perjuicios que ambos por separado.

Existen diversas tecnologías para la reducción de partículas de los gases de combustión como son la eliminación por vía húmeda, los separadores electrostáticos, etc. y se espera que, antes del año 2000, la difusión de estos procedimientos reduzcan a 1/3 la emisión actual de partículas. Hay sin embargo el problema que presentan las partículas de tamaño inferior a 1 micra, que son las más perjudiciales y las de más fácil transporte a grandes distancias y a capas superiores de la atmósfera.

e) Hidrocarburos y otros contaminantes. - En la combustión del carbón y del fuel-oil puede darse que la mala regulación produzca hidrocarburos inquemados. De todos estos productos los que tienen mayor incidencia sobre la salud humana son los policíclicos que se consideran cancerígenos. También se ha advertido que los hidrocarburos producen efectos nocivos sobre las plantas.

La eliminación de estos productos en los gases de combustión de las calderas se consigue, simplemente, con un buen control de ésta. La proporción más importante (60%) de hidrocarburos en la atmósfera de las zonas urbanas procede de los vehículos a motor. En los combustibles fósiles existen trazas de varios metales como el mercurio, plomo, cadmio, berilio, arsénico, etc. En la combustión algunos de ellos forman

compuestos volátiles cuya medida en la atmósfera es difícil . Algunos, como el mercurio, se han podido estimar: 3.000 Tm/a de mercurio a la atmósfera procedente de la combustión del carbón en todo el mundo. Este y otros elementos (Sb, Cd, Se, Pb) quedan absorbidos en las partículas finas, como antes hemos comentado. El 70% del Pb emitido en los gases de escape de los automóviles, lo es en forma de aerosol combinado con el Br, Cl y P, y esta fuente es la de mayor importancia.

Las centrales térmicas de carbón emiten, a través de las cenizas volátiles, algo de radiactividad procedente del Th 232 y U 235 que por trasmutación producen Ra 226 y Ra 228.

f) Contaminación térmica. - El calor que una central termoeléctrica ha de disipar en el medio ambiente es función de su potencia y del rendimiento que resulte de las características del vapor que genera su caldera. Las vías por las que este se transfiere al exterior son principalmente dos: los gases residuales de la combustión que escapan por la chimenea y/o el refrigerante del condensador de las turbinas de vapor.

Hay otras pérdidas calóricas, además por soplado, etc, que se resumen en el ejemplo del gráfico adjunto en el que se expone el balance energético de un grupo termoeléctrico a carbón. Como puede comprobarse, la mayor proporción (casi 50%) de la energía contenida en el combustible ha de ser eliminada del condensador cediéndola, como calor, al agua de refrigeración. Este calor es transferido, en todos los casos, a la atmósfera y su impacto sobre el medio ambiente depende del itinerario que siga hasta llegar a aquella. Estos itinerarios dependen del sistema que se utilice:

- Refrigeración directa en circuito abierto (cuando existe abundancia de agua), trasladando el calor a la atmósfera por evaporación natural, desde la misma fuente de la que se tomó (río, lago, etc.)

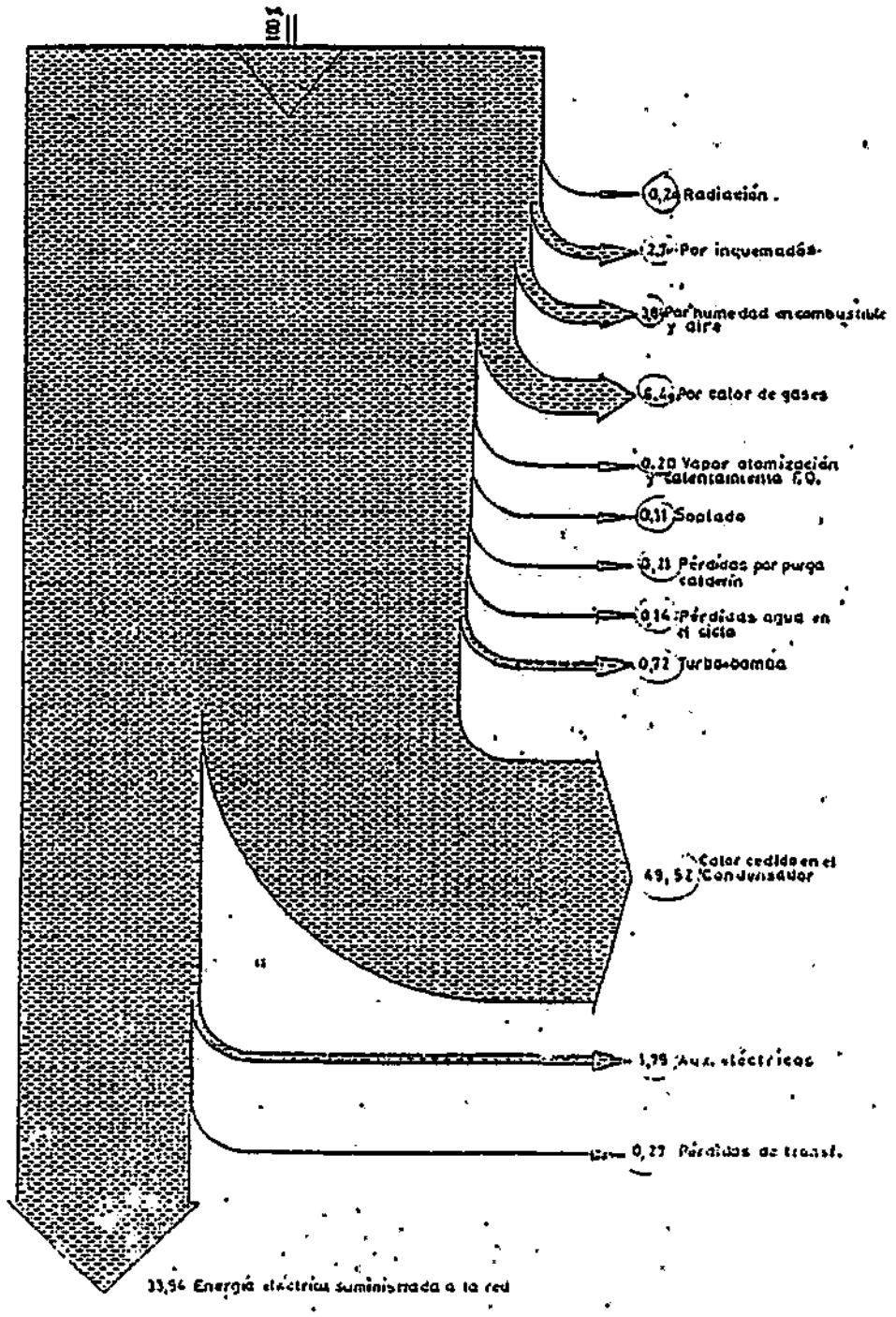
- Refrigeración en circuito cerrado (cuando hay limitaciones en el abastecimiento) reciclando el agua para enfriarla artificialmente en contacto con el aire ambiente y volver a utilizarla como refrigerante del condensador.

La devolución del agua caliente del circuito abierto (10º C ó 12º C por encima de la temperatura inicial) al río o lago de procedencia, afecta a los organismos que viven en él, por la disminución de oxígeno disuelto que se produce al elevarse la temperatura en las proximidades de la zona de descarga y otros efectos. La falta de investigaciones biológicas básicas "in situ" y de datos a largo plazo, hacen imprecisas las consideraciones sobre las consecuencias ecológicas de estas descargas térmicas, pero es claro que su efecto principal recae sobre los organismos fijos que viven en el fondo o alrededores de la zona, ya que los que pueden desplazarse (peces, etc) se alejan y la comunidad, afectada en un principio, recupera su estructura natural, después de cierto tiempo.

En los sitemas de circuito cerrado, los elementos intermedios que transfieren el calor a la atmósfera suelen ser: a) aspersores, cuya lluvia de agua caliente se enfría directamente en contacto con el aire atmósferico; b) embalses artificiales, el agua pierde su calor por radiación y evaporación natural directa; c) torres de refrigeración, con circulación forzada de aire que enfría la lluvia de agua caliente. Estos procedimientos artificiales producen también un impacto en el medio ambiente al ocasionar neblinas y precipitaciones locales del vapor de agua que generan ciertas modificaciones climatológicas de la zona circundante. Por otra parte modifican el paisaje por causa de sus estructuras y del penacho de niebla que producen.

BALANCE DE ENERGIA (%).

CENTRAL TERMOELECTRICA - GRUPO DE 350 MW - COMBUSTIBLES SOLIDOS



Las medidas de carácter preventivo, en relación con las descargas térmicas de los circuitos abiertos, consisten en realizar los estudios pertinentes en cuanto a la exigencia de caudales suficientes de los ríos elegidos o en la reducción de la potencia a instalar (en un río) con sistema de refrigeración de circuito abierto. Los efectos que producen las torres de refrigeración (precipitaciones, nieblas, etc) pueden paliarse con un estudio metereológico profundo de la zona antes de decidir la localización de la misma y la instalación de "captadores de gotas" interpuestos en las corrientes de aire, de las que eliminan hasta el 98% de las mismas. Estos sistemas artificiales de refrigeración suelen representar unos incrementos del coste del KWh producido que puede suponer hasta un 5%.

Cabe señalar que las descargas térmicas pueden tener aplicaciones útiles en determinadas circunstancias o para ciertos usos y explotaciones. Señalamos los siguientes:

- Mantener libres de hielo en invierno algunos lagos o ríos de regiones frías.

- Utilización en granajs piscícolas y acelerar el desarrollo de camarones y langostas.

- Empleo en aplicaciones agrícolas.

6.4.2 Centrales termonucleares

En primer lugar hay que señalar que al tratar de la energía nuclear no entramos en el tema de si es necesaria o no esta energía. Partimos del supuesto de que tenemos un plan energético nacional, que incluye la energía nuclear para la generación de electricidad y desde ese punto de arranque, de forma breve porque este punto es amplísimo, intentamos resumir la problemática ambiental de las Centrales Nucleares.

Sería muy diferente si el trabajo que tuvieramos que hacer fuese el de evaluación de impactos debido a una determinada programación energética, en cuyo caso es prioritario y fundamental la consideración del alternativas, en cuanto a :

- instalación de Térmicas convencionales, en lugar de las Nucleares.

- no instalación de ningúna térmica.

Esto nos llevaría forzosamente a referirnos aunque sea de forma breve al Plan Energético Nacional de cada país, porque puede que esas alternativas sean viables o no. Pero no es este el caso.

Por otra parte en la explotación comercial de la energía nuclear hay otras etapas, antes y después de la central eléctrica, que ni siquiera menciono en este trabajo. En el ciclo del combustible nuclear, para las centrales de agua ligera, existen las siguientes fases: Minería del uranio, fabricación de concentrados de uranio; fabricación de hexafluoruro de uranio; enriquecimiento del uranio y fabricación de elementos combustibles; utilización del uranio en el reactor (Central termonuclear); transporte de residuos sólidos; reelaboración del combustible y almacenamiento de residuos sólidos.

Quizás la fase de utilización del uranio en la Central térmica es de las que produce efectos ambientales de menor cuantía . Vamos a ver cuáles pueden ser tales efectos.

De una forma muy sencilla puede decirse que una central nuclear es simplemente una central térmica, o sea una instalación en donde se calienta agua que se convierte en vapor y este vapor se lleva a un grupo tur-

bo- alternador para la generación de energía eléctrica.

El grupo turbogenerador es igual que en las Centrales Térmicas convencionales, que utilizan el calor que se desprende en la combustión de carbón, fuel-oil o gas para calentar el agua y producir el necesario vapor. En cambio en las Centrales Nucleares se utiliza otra fuente de calor para tal fín; actualmente es el generador en la fisión de los núcleos de los átomos de Uranio.

Como todo el mundo sabe la energía nuclear es una energía contenida en el núcleo del átomo. Un átomo tiene una parte central que es el núcleo, formado por dos tipos de partículas: los neutrones y los protones; y tiene también una serie de órbitas con sus correspondientes electrones. El número de neutrones y protones del núcleo caracterza las propiedades nucleares del átomo. Un núcleo se llama pesado cuando tiene un gran número de neutrones y protones, como el Uranio 235, que es el elemento que hoy se emplea en las centrales nucleares.

La fisión nuclear es la rotura de un núcleo pesado como consecuencia de la acción de un neutrón libre sobre él. Cuando el núcleo capta este neutrón libre se produce un desequilibrio y el núcleo se parte liberando una cierta cantidad de energía en forma de calor. Este calor es el que se utiliza para calentar el agua y producir vapor.

En un reactor, la velocidad de fisión está controlada para producir la cantidad de energía calorífica necesaria. Además se controla la velocidad de emisión de los neutrones para que sea posible la captura de los neutrones por los núcleos, de ahí el papel del moderador que tiene como misión frenar los neutrones rápidos para que sean neutrones lentos. Los elementos moderadores de las centrales nucleares pueden ser de varios tipos, pero los más utilizados son el grafito, el agua ligera y el agua pesada.

Las centrales nucleares españolas actualmente en funcionamiento son tres y son de los siguientes tipos: Vandellós, que utiliza el reactor de uranio natural y Zorita y Santa María de Garoña que tienen reactores de agua ligera, la primera de agua a presión (PWR- Pressure Water Reactor) y Garoña de agua en ebullición (BRW- Boiling Water Reactor). El reactor de Uranio natural (Vandellós I) utiliza como combustible Uranio natural, o sea U238 con el 0,7 por 100 de U235. En este reactor circula una corriente de CO_2 que es el elemento portador de calor y el agua circula en circuito cerrado, sin estar en contacto con la parte nuclear. O sea que se produce un intercambio de calor a través de un serpentín. Estos reactores parece que tienen muy poco o ningún futuro.

Los reactores de agua ligera hasta ahora son los más utilizados en sus dos tipos, a presión y en ebullición. El combustible en estos reactores es uranio enriquecido, que tiene un porcentaje aproximado de U_{235} del 3,5 por 100 (o sea que se incrementa el contenido de U_{235} en el Uranio natural en unas 4 ó 5 veces). El Uranio natural está constituído por un 99,3% de U_{238}, 0,7 de U_{235} y menos de 0,01% de U_{234}.

En el reactor de agua a presión hay un circuito de agua primario, cerrado, que es el que capta el calor nuclear y que sirve para calentar otro circuito de agua, el secundario, también cerrado. Es decir, hay dos circuitos cerrados, independientes.

En un reactor de agua en ebullición, en lugar de haber dos circuitos hay solamente uno el primario, que llega hasta la turbina. La diferencia es importante con respecto a la contaminación.

En ambos casos existe el condensador, por el que pasa el vapor de retorno para condensarse y es en este

punto donde se produce la denominada contaminación térmica, que existe igualmente en las térmicas convencionales, pero que al producirse más calor en las nucleares, el incremento de temperatura del circuito de refrigeración de la Central, es mayor. Hay que fijarse que esta contaminación es sólo calor, sin ninguna componente radiactiva.

Como el consumo de agua para los condensadores es muy alto, por razones puramente económicas se buscan emplazamientos lo más cercanos al mar posible, o donde haya caudales de agua suficientes. Tecnológicamente el problema podría resolverse con la instalación de torres de refrigeración de tiro natural o forzado, pero son soluciones muy costosas. Si en una central nuclear se montaran torres de refrigeración, el costo de las mismas incrementaría la inversión total en un 7 u 8 por ciento. Quiero decir que el problema de la contaminación térmica, o sea la emisión de calor al medio líquido es absolutamente soluble, en tecnología; en cambio económicamente tiene un costo muy alto.

El tema de la contaminación térmica lo estudiamos más adelante con suficiente detalle.

Verdaderamente a la hora de cuantificar los efluentes radiactivos es muy importante el tipo de reactor y las características de la Central, quizás por ello vale la pena hacer un poco de historia de cómo se ha llegado a los actuales tipos de reactores y que perspectiva presenta la tecnología nuclear.

Las primeras investigaciones en el campo de la energía nuclear se dirigieron en dos sentidos principalmente, uno hacia los grandes reactores de producción de plutonio para fines bélicos (familias de agua pesada y grafito-gas) y el otro hacia los reactores compactos para propulsión de submarinos (familia de agua ligera). Las tecnologías de estos primeros reactores han ido evolucionando al pasar al campo de los usos pacíficos de la energía nuclear hasta llegar al estado actual de los reactores nucleares para la producción de energía eléctrica.

Actualmente y hasta 1990 las Centrales Nucleares serán casi todas de agua ligera y uranio enriquecido. En los países de la O.C.D.E. la potencia de estos reactores es aproximadamente un 90 por 100 de la total nuclear.

En cuanto al futuro desarrollo de la energía nuclear puede decirse que va a ser extraordinario, y sólo a título de muestra cabe mencionar los reactores rápidos, que son aquellos que generan más combustible que el que se consume. Esta regeneracción del combustible es del orden de 1,3 a 1,4 mientras que en un reactor de neutrones lentos la tasa de regeneración es inferior a la Unidad. Por consiguiente, con estos reactores de neutrones rápidos se aprovechará el uranio 60 ó 70 veces más que ahora, con lo cual se multiplican automáticamente por 60 ó por 70 las disponibilidades mundiales de uranio. Estos generadores no tienen moderador de neutrones. De este tipo de generadores hay uno en Francia, de 250 MW, conectado a al red desde hace unos años (en Diciembre de 1973) y que llegó a su plena potencia en marzo de 1974. Los rusos tienen también desde hace años en las Centrales de Schevchenko y Obninsk generadores de neutrones rápidos superiores al francés, que están operando desde hace ocho años. En Francia con base en la experiencia del primer generador (el "Fénix") están construyendo el "super-Fénix" de 1200 MW, con una asociación multinacional en la que participan empresas alemanas con un 16 por 100; italianas con el 33 por 100 y francesas con el 51 por 100. Se espera que este generador entre en funcionamiento en 1981. Actualmente hay diez reactores rápidos funcionando en el mundo, cuatro de ellos con potencia superior a 100 MW, instalados en Francia, Rusia, Inglaterra y Japón. De todos modos, se está aún en la fase de prototipos.

A partir de 1990-1995 los reactores rápidos reproductores pueden cubrir un porcentaje de potencia impor-

importante, ya que al transformar el Uranio $_{238}$ un plutonio, material fisionable, se dispondrá, como hemos señalado, de unas grandes reservas de combustible nuclear.

También están en desarrollo otros tipos de reactores, como los de alta temperatura (por evolución de los de grafito-gas) y los de agua pesada.

PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS CENTRALES NUCLEARES

En la energía nuclear los impactos más importantes y que más preocupan a la opinión pública son dos, relativos a impacto físico. Estos dos aspectos físico-químicos son:

1. - La acción de las radiaciones ionizantes
2. - La contaminación térmica

sin que ello signifique que no deban considerarse igualmente los aspectos ecológicos, socioculturales y socioeconómicos.

RADIACIONES IONIZANTES

Un reactor de fisión, que son los actualmente empleados, produce tres tipos de sustencias o material radiactivo:

a) productos de fisión (procedentes del combustible nuclear, como el tritio, etc.)

b) productos de activación (radionucleidos que se forman por la activación neutrónica de las impurezas químicas contenidas en el líquido refrigerante -agua pesada, agua ligera, CO_2 - y de los materiales estructurales).

c) actínidos (elementos de las tierras raras; especialmente los transuranidos, -uranio, plutonio, neptunio, curio, etc. -)

La emisión de este tipo de materiales comporta riesgos de irradiación y la seguridad de la industria nuclear depende de que se controlen estas emisiones a un nivel que no produzca una acción notable sobre el medio.

Conviene recordar también la naturaleza de la radiación emitida por las sustancias radiactivas. La radiación puede ser corpuscular u ondulatoria. En el primer caso tenemos los rayos α o partículas α y los rayos β o partículas β. En el segundo los rayos γ.

Los rayos α o partículas α tienen la carga eléctrica positiva y son núcleos de átomos de helio (partículas con dos cargas positivas y cuatro unidades de masa. Son emitidos por los núcleos de elementos radiactivos a gran velocidad (unos 20.000 Km/segundo) y poseen una gran energía, pero son detenidos o absorbidos totalmente por una hoja de papel o una lámina de aluminio de 0,1 mm. de espesor.

Los rayos β o partículas β tienen carga eléctrica negativa y son electrones emitidos por los núcleos de los átomos radiactivos o velocidades próximas a las de la luz. La energía de las partículas β es menor que la de las α pero, sin embargo, son más penetrantes que ellas, siendo absorbidas totalmente por una placa de aluminio de 5 mm. de espesor o una de plomo de 1 mm. de espesor.

Los rayos γ no tienen masa, son ondas electromagnéticas análogas a las de la luz o los rayos -x, pero tienen una longitud de onda mucho menor, del orden de la décima o centésima de angstrom y son muy penetrantes.

Los fotones son cuantos de luz, $h\nu$.

Hay que recordar una vez más que el hombre y todos los seres vivos, están sometidos a una radioexposición natural por efectos de la radiación cósmica y por la presencia de radionucleidos naturales en los diversos medios en que se desenvuelve y de los que se abastece de alimentos.

Los radionucleidos naturales pertenecen a la serie de los actínidos o sea los elementos que componen la segunda familia de las tierras raras (thorio, palladio, plutonio, uranio, curio, radón, etc.) o bien proceden de nucleidos aislados (como el Potasio 40), pueden ser también radionucleidos derivados de la acción de los rayos cósmicos (como el Carbono 14 y el tritio principalmente).

El hombre puede estar expuesto a las radiaciones ionizantes por dos caminos:

a) a través de una irradiación externa debida a los radionucleidos existentes en el exterior o que están en contacto con la piel.

b) a través de una irradiación interna por los radionucleidos que penetran en el interior del organismo.

En la t. 5.6.1 se indican los valores medios de las tasas de dosis equivalentes, expresadas en mrem/año, recibidas en todos el cuerpo por las personas, debido a la radiactividad natural.

TABLA 5. 6. 1

VALORES MEDIOS DE LAS TASAS DE DOSIS EQUIVALENTES RECIBIDAS EN TODO EL CUERPO POR PERSONA A CAUSA DE LA RADIACTIVIDAD NATURAL (*)

Fuente	Dosis equivalente (mrem/año)
Radiación cósmica.....	33
Radiación terrestre externa.....	44
Radiación terrestre interna.....	24
Total.....	101

(*) Datos tomados a través de A. Alonso de publicaciones del Comité Científico sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas. (UNSCEAR) de las Naciones Unidas y presumiblemente váidos para la población en su conjunto (Anómimo, Ionizing Radiatión: Levels and Effects, Vol. 1 United Nations. New York 1972). Se estima que estos valores pueden ser aplicados para el conjunto de población de España, excepto para la población que viva sobre terrenos muy radiactivos.

Hay un gran temor por los riesgos que implica toda exposición a las radiaciones ionizantes, que vienen a sumarse a la acción de la radioactividad natural.

Pero partiendo de la base de que estamos utilizando o hemos de utilizar ya sea las radiaciones (como en el caso de los rayos-X o rayos γ, tanto en radiografía humana o industrial o en tratamientos médicos, etc) o bien aprovechar la energía nuclear, el dilema está en saber y aplicar que dosis de radiaciones pue-

den recibir, individual y colectivamente los seres vivos, sin sobrepasar determinados límites de riesgo o para tener unos niveles aceptables de radiactividad en el ambiente o en el organismo.

" Se entiende por niveles aceptables en el ambiente o en el organismo, aquellas cantidades de radiactividad (ya sean radiaciones ondulatorias o corpusculares) que añadidas a la radiación natural ambiente producen dosis de irradiación lo más bajas posibles con respecto a los límites que pueden conseguirse razonablemente, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales".

A este respecto, tanto los Organismos internacionales dedicados a este tema de la energía nuclear como los correspondientes Organismos nacionales tienen fijadas unas dosis máximas admisibles que obligan a respetar unos límites de emisión a las Centrales.

El organo fundamental encargado de formular normas recomendadas es la COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION CONTRA RADIACIONES (ICRP). Aunque sus recomendaciones no tienen fuerza legal, son la base de los Reglamentos establecidos por el ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA (OIEA) y los correspondientes organos nacionales.

Quizás para concretar prodríamos citar algunas cifras.

El porcentaje de radiaciones ionizantes a que está sometido el hombre, por las causas naturales a que antes nos hemos referido, es alrededor de 55%, del total, como promedio. El resto, 45% procede de las otras fuentes que ya hemos citado: Rayos-X, centrales nucleares, equipos eléctricos (ya sea en el hogar o en el trabajo).

Pero la llamada radiación ambiental no es lo más importante. Los usos médicos de las radiaciones representan cerca del 94% de todas las exposiciones a que está sometido el hombre o bien cerca del 40% de todas las fuentes de radiación a las que por término medio está sometida una persona.

En los últimos años se ha incrementado mucho las utilizaciones industriales de las radiaciones.

La energía nuclear, como foco de radiación ambiental, ha contribuido también al incremento de la recepción de radiaciones, pero en cifras realmente bajas.

Según datos de Estados Unidos, de las 20 Centrales Nucleares que hay allí en operación y de las cerca de 450 que se espera estén en explotación antes de 1990, las emisiones de radiaciónes (incluyendo las de las plantas de reprocesado del combustible nuclear) no supondrán más de un 0,003% del total de radiaciones ionizantes a que está sometido el hombre. A pesar de lo baja que es esta cifra, como se es consciente del riesgo que supone un incremento de la radiactividad deben tomarse las medidas oportunas para reducir las emisiones todo lo posible. En este sentido va la legislación, acompañada de la idea de control, a través de una red monitorizada de vigilancia.

En las centrales nucleares hay unos vertidos de sustancias gaseosas a la atmósfera a través de la emisión de gases, unos efluentes líquidos y residuos sólidos radiactivos.

CONTAMINACION ATMOSFERICA

Nos vamos a referir sólo a los reactores de agua ligera. Las emisiones a la atmósfera procedentes de

las centrales nucleares están constituidas por sustancias radiactivas formadas en el reactor, ya sea como resultado de la fisión y desintegración sucesiva de los fragmentos de fisión o bien por activación de los materiales estructurales, los del refrigerante o de impurezas. Como consecuencia de la fisión y desintegración pueden generarse más de 300 radionucleidos diferentes y además más de 50 debidos a la activación de los materiales estructurales y fluidos refrigerantes.

Las sustancias radiactivas llegan al exterior como resultado, en primer lugar, de las necesarias operaciones de desgasificación del refrigerante, así como, aunque en menor grado, a través de la barrera de presión y su consiguiente evaporación o mediante suspensión o evaporación de polvos o líquidos de las superficies o masas contaminadas.

La clase y volumen de las emisiones dependen del tipo de reactor y varían muy ampliamente de un equipo a otro, según sus características y diseño.

Por ejemplo, la mayor parte de las emisiones de un reactor de agua en ebullición se deben a los gases con productos de fisión y activación que penetran en el refrigerante por rotura de la vaina. La difusión a través de la vaina tiene poca importancia en el caso del tritio, es decir, que estos reactores producen pequeñas cantidades de tritio. Las fugas con gases disueltos son llevadas por el vapor hasta el eyector de aire del condensador de la turbina. Los gases se descargan a la atmósfera una vez que han sido tratados en complejos sistemas de purificación y tratamiento, desintegrándose la mayoría de ellos en el camino, excepto el criptón 85, a causa de su largo período de semi-desintegración.

En cambio, en los reactores de agua a presión el refrigerante circula en circuito cerrado, de modo que el vapor que mueve la turbina se genera en un circuito independiente, aislado del refrigerante del reactor. Estos reactores acumulan una mayor actividad en el circuito de refrigeración del núcleo, produciendo mayores cantidades de tritio, pero los gases del refrigerante en el circuito de desgasificación se almacenan durante períodos de varios meses, y se tratan igualmente en complejos sistemas eliminando así los gases de período de semidesintegración corto por desintegración radiactiva.

En la t. 5.6.2 se indican las descargas de residuos radiactivos gaseosos principales, típicas de las centrales de agua ligera.

Como puede observarse, son mayores las actividades en el caso de los reactores de agua en ebullición.

En cualquier caso, las emisiones de gases de fisión que eventualmente pueden verterse a la atmósfera depende, sobre todo, de las condiciones en que se encuentre el combustible, a causa del progresivo deterioro de las vainas, aumenta la contaminación del refrigerante.

El comportamiento en la atmósfera de las sustancias radiactivas emitidas difiere según la naturaleza química y física de las mismas. Pueden considerarse tres grupos principales:

- Gases nobles
- Partículas
- Vapores y gases que pueden depositarse o introducirse en estructuras biológicas del entorno de la central.

Los gases nobles son químicamente inertes y no entran en el metabolismo de los distintos organismos, incluyendo la biosfera, ni por consiguiente afectan a las cadenas alimentarias.

Las partículas son pequeños corpúsculos, generalmente de materiales radiactivos sólidos o materiales absorbidos por partículas normales de polvo. Estos contaminantes pueden recogerse en filtros para la depuración de las emisiones gaseosas y para el control y medida de estas partículas.

Los vapores y gases activos incluyen sustancias como yodo, tritio y CO_2.

A título de ejemplo, se indican cualitativamente las emisiones típicas de un reactor de agua en ebullición:

Gases nobles:

Isótopos de criptón:
Kr-83, Kr-85 m, Kr-85, Kr-87, Kr-88, Kr-89

Isótopos de xenón,
Xe-133m, Xe-133, Xe-135, Xe-137 y Xe-138

Isótopos de otros elementos:
H-3, Co-58, Co-60, Sr-89, Sr-90, I-131, Cs-137 y Ba-140

Tanto las partículas como los gases y vapores requieren especial atención más por su incidencia en los sistemas ecológicos que por sus efectos de radiación externa, puesto que muchos de ellos son metabolizados por el organismo y las concentraciones acumuladas pueden alcanzar valores mayores que las del aire ambiente.

TABLA 5.6.2.

VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS TASAS DE DESCARGA (*) (Ci/año) DE RESIDUOS RADIACTIVOS GASEOSOS DE LAS CENTRALES DE AGUA LIGERA DE 1.000 Mwe (**)

Nucleido	*Periodo de Semidesintegración*	*Central tipo BWR*	*Central tipo PWR*
Kr^{83m}	1,86 h	12,5	0
Kr^{85}	10,76 a	250	250
Kr^{85m}	4,4 h	3.920	0
Kr^{87}	1,3 h	1,5	0
Kr^{88}	2,8 h	1.508	0
	TOTAL Kr	5.692	250
Xe^{131m}	11,9 d.	150	10
Xe^{133}	5,27 d.	22.116	50
Xe^{133m}	2,3 d.	50	0
	TOTAL Xe	22.316	60
	TOTAL Kr + Xe	28.008	310
		1	0,01

(*) Se supone que el 0,2 por 100 de las vainas contienen defectos.
(**) Datos tomados de WASH-1250. Anonimo: *The Safety of Nuclear Power Reactors and Related Facilities.* (Julio 1973.)

CONTAMINACION DE LAS AGUAS

El primer problema de contaminación de aguas que plantean las centrales nucleares y seguramente la mayor dificultad de tipo ambiental con que se tropieza en su emplazamiento, es el de la emisión de calor o contaminación térmica.

CONTAMINACION TERMICA. EMISION DE CALOR

Las centrales termonucleares, de agua ligera, tienen un rendimiento termodinámico del orden de un 33%. Las térmicas convencionales en general tienen rendimientos iguales o en algunos casos muy perfeccionados pueden llegar a un 40%. De todos modos este último rendimiento no es fácil de alcanzar. Los reactores nucleares de alta temperatura y los reproductores rapidos podrán alcanzar rendimientos del 40%.

Por consiguiente, es preciso transmitir al sistema de refrigeración dos tercios del calor o energía obtenida del combustible, y esto supone cantidades ingentes.

Esta energía residual cedida en el condensador, tiene como destino último la atmósfera, cualquiera que sea el sistema de refrigeración utilizado.

Los efectos de la emisión de calor afectan sobre todo al componente biótico del sistema.

Los seres vivos están dispersos y organizados en sistemas ecológicos o ecosistemas, constituidos por dos componentes fundamentales uno vivo (componente biótico) y otro no vivo (abiótico). En el caso de un rio, el biótico está representado por los organismos que lo ocupan, animales y plantas (biocenosis) y el abiótico por el soporte físico (biotopo), que comprende la cubeta del río con el agua y las sustancias disueltas en la misma. Estos dos componentes están constantemente interreaccionando entre sí y un cambio en la composición del agua tiene su expresión directa en la composición de la biocenosis.

En el ecosistema, como en toda comunidad organizada, existen diversas funciones que cumplir, o dicho en términos ecológicos, nichos que llenar. Según del Dr. Nieto García de anien procede parte de la información que se incluye en este apartado, estos diversos nichos se agrupan en los siguientes niveles: productores primarios, fitófagos y uno o dos niveles de zoófagos (primarios y segundários). El nivel de los productores primarios corresponde a los vegetales, el de los fitófagos a los organismos que utilizan la biomasa vegetal como alimento, y el de los zoófagos los que emplean la biomsa animal como alimento.

Vamos a ver ahora como afecta el aumento de la temperatura, que produce el vertido, sobre el contenido de oxígeno en el agua.

El oxígeno disuelto en el agua es uno de los indicadores de impacto más claros, puesto que una disminución del mismo supone una muestra inmediata de contaminación orgánica. El oxígeno es un factor fundamental para el desarrollo de la vida acuática.

El oxígeno del agua tiene dos orígenes, uno procedente de la atmòsfera, por difusión, y otro como resultado de la actividad fotosintética de los vegetales acuáticos. Pòr otra parte, la solubilidad del oxígeno en el agua viene afectada por la temperatura de la misma y por la concentración de sales disueltas. La solubilidad del oxígeno aumenta para bajs temperaturas y disminuye para elevadas concentraciones de sales.

En aguas puras, el aumento de temperatura atribuible a la contaminación térmica de las centrales nucleares no reduce la disponibilidad de oxígeno a una concentración que sea fatal para los peces. La situación es diferente cuando el sistema acuático está contaminado con otras sustancias.

Sí puede afectar, en cambio, a los microorganismos. Las principales modificaciones de las propiedades biológicas se centran en la variación del ritmo de crecimiento de los microorganismos e incluso en su muerte. Generalmente, los microorganismos aumentan su actividad al aumentar la temperatura del medio acuático hasta un punto en que no es posible su vida en tal medio. Cada especie tiene temperaturas y condiciones óptimas para su desarrollo por lo que la variación de la temperatura en una vía fluvial puede ocasionar cambios de los tipos de flora y fauna que en ella habitan.

Estos aumentos de temperatura dificultan también la asimilación, por parte de los correspondientes microorganismos, de los residuos orgánicos que se vierten en el río, ya que al descargar una cantidad grande de agua caliente en una corriente normal se puede producir una estratificación de esta corriente, que impide la mezcla de las capas altas y las bajas, lo que ocasiona que el oxígeno llegue con más dificultad e incluso que disminuya la capacidad del agua para retener el oxígeno disuelto. Además, los residuos orgánicos que se descargan en las capas inferiores, quedan depositados en ellas y se produce en las mismas una concentración mayor.

Las propiedades químicas se alteran también con la temperatura. La velocidad de las reaciones químicas tiende a duplicarse por cada 10º C de aumento de temperatura.

Los principales efectos sobre las propiedades físicas de la variación de temperatura están relacionados también con la variación en la disponibilidad de oxígeno y el comportamiento en esas condiciones de los microorganismos. Las variaciones de temperatura del agua afectan a su densidad, viscosidad, tensión superficial y de vapor y a la solubilidad y difusión de gases; en este caso concretamente, al aumentar la temperatura disminuye la capacidad del agua para disolver el oxígeno que las bacterias necesitan para asimilar los residuos orgánicos y depurar así las corrientes líquidas. Además, las bacterias necesitan una mayor cantidad de oxígeno al aumentar la temperatura.

Conviene indicar además, que las tomas de agua, para evitar su obturación, están protegidas por rejillas y en ellas tiene lugar el atrapamiento de peces grandes en cantidades que dependen del emplazamiento y potencia de la central. La introducción de pantallas rotatorias, reducción de la velocidad de succión y existencias de zonas de escape para los peces reducen considerablemente este efecto.

Una vez considerado el atrapamiento de los peces de gran tamaño por las rejillas, quedan en el agua una serie de organismos pequeños en suspensión, plancton-fito y zoo- huevos de peces, larvas y pequeños peces, los cuales son succionados al interior del sistema de refrigeración. En su interior son expuestos a los efectos del incremento de temperatura, daños mecánicos contra las paredes de los conductos, así como la acción tóxica del cloro, ya que las superficies de transferencias de calor se recubren de una capa mucosa de bacterias que se eliminan mediante la adición de hipoclorito sódico al agua de refrigeración.

En condiciones normales, a causa del paso de estos organismos a través del sistema de refrigeración, la productividad del fitoplancton queda disminuida o destruida entre el 15 y el 50%, mientras que el zoo-plancton, a su paso por los conductos, no sobrevive incrementos de temperatura de 8 a 9º C. Asímismo, se ha apreciado una disminución de la fertilidad de los huevos del zooplancton y una mortalidad del 17 al 19% para copépodos y cladóceros.

Una vez vertida el agua caliente al sistema receptor, tienen lugar alteraciones en la estructura de la biocenosis, con simplificación del número de especies y aumento del número de individuos de las especies tolerantes. Esta comunidad simplificada, a partir de las zonas de máximo efecto térmico, va recuperando su fisonomía inicial por descenso de la temperatura. Esto tiene lugar preferentemente en los organismos bentónicos que viven sobre el fondo de los sistemas acuáticos- y que por ello reflejan mejor las condiciones - locales de la contaminación térmica.

Los efectos sobre los peces, animales capaces de eludir los cambios de temperatura por desplazamiento, son menos indicadores que los datos provenientes del bentos, con desplazamientos más limitados o fijos y así, salvo cambios bruscos térmicos, la mortalidad de los peces no es previsible y sí su posible ausencia de areas muy reducidas.

Estudios llevados a cabo en Hanford (EE. UU.), donde existe un conjunto de reactores nucleares refrigerados en circuito abierto, durante 25 años de operación, no se han señalado mortalidad de peces. Hay que señalar que a causa de las bajas temperaturas de las aguas del rio Columbia, que refrigera dichos reactores, estos resultados no son aplicables a un río tropical, cuyas temperaturas en verano están muy próximas a las letales de los organismos que lo ocupan, y cualquier adición de calor repercutirá desfavorablemente sobre la biocenosis. En este ecosistema, en que la capacidad de refrigeración del agua es muy reducida, por no poderse incrementar mucho la temperatura del mismo, están indicadas las torres de refrigeración.

La disminución de los efectos térmicos sobre los ecosistemas viene dada por el cumplimiento de especificaciones que se fijen, relativas al aumento de la temperatura en los diversos ecosistemas. Otra consideración es la disminución del tiempo de exposición o permanencia a temperaturas elevadas de los organismos, así como la utilización de sistemas eficientes de mezcla del agua de refrigeración con la del sistema receptor.

En el caso de centrales situadas en la costa, tales requisitos se satisfacen aumentando el cuadal de refrigeración. En el caso de centrales localizadas en río, un estudio de los caudales del mismo y de las características locales, indicará si es posible la utilización del circuito abierto, o si deben utilizarse torres o estanques de refrigeración. Asímismo, siempre debe llevarse a cabo una evaluación de los beneficios producidos por la utilización del ecosistema en consideración y la magnitud de los efectos en él producidos. Si resulta necesario, puede acudirse a un sistema de refrigeración del condensado.

La refrigeración de las Centrales térmicas, de cualquier tipo, puesto que el problema es igual en todos los casos, si bien se agrava en el de las Nucleares porque las potencias totales son mucho mayores, puede efectuarse de diversas formas:

a) Por circuitos abiertos
b) Por circuitos cerrados, ya sea con Torres de refrigeración húmedas o secas.

CIRCUITOS ABIERTOS

El agua de refrigeración, que se utiliza para condensar el vapor, se vierte directamente al mar, a un lago o embalse o al rio.

En este caso se necesitan grandes caudales de agua, que varían entre 35 y 46 m^3/segundo por cada unidad

de 1000 megavatios eléctricos. Con caudales de 35m^3/segundo por grupo de 1000 MW, el incremento de temperatura del agua de refrigeración a su paso por el condensador es del orden de 15° C. Si se incrementa el caudal de refrigeración, lógicamente y de forma inversamente proporcional, disminuye el salto térmico. Es bastante evidente que con estas necesidades de agua, en España hay pocos rios que sean aptos para este fin.

CIRCUITOS CERRADOS

En este caso, el agua de refrigeración se recircula una vez que pierde el calor que ha adquirido en el condensador. Los dos tipos de sistemas son los que usan Torres húmedas o Torres secas. En las primeras el agua es enfriada por una corriente de aire y en gran parte es por evaporación. Las perdidas por evaporación son alrededor de unos 26m^3/kilovatios y año. Por tanto, las perdidas en una central de 1.000 megavatios eléctricos que funcione durante 6.000 horas al año ascienden a 18 millones de metros cúbicos/año frente a 15.000 m^3/año por la misma causa en las centrales refrigeradas en circuito abierto.

En las torres secas el circuito de agua es cerrado y refrigerado por aire; por consiguiente, el consumo de agua es insignificante.

La elevación de temperatura producida en el agua de refrigeración en las centrales nucleares refrigeradas en circuito abierto varía entre 5 y 10°C, con una media de 8°C. Esta diferencia se reduce a menos de 1°C a 1.000 metros de distancia del punto en que el agua retorna al mar y varía en los ríos y lagos en función de las características de los mismos.

Realmente no hay problemas tecnológicos, sólo como ya hemos mencionado, son económicos. Por ello la tendencia es refrigerar las Centrales mediante circuitos abiertos y situarlas, por consiguiente junto al mar, si es posible.

CONTAMINACION DE LAS AGUAS POR RADIACIONES IONIZANTES

El segundo problema de contaminación de las aguas que nos encontramos al examinar las centrales nucleares es el de tipo y cantidad de radionucleidos presentes en los vertidos líquidos residuales procedentes de estas instalaciones.

Los diversos isótopos presentes en los efluentes líquidos dependen, igual que las emisiones gaseosas, del tipo de reactor y de las condiciones y diseño del mismo. Las actividades producidas dependen también de la potencia de la central. En general, junto a los productos de activación, como el Zn-65, Co57, Co-60, Fe-55, Fe-59, P-32, Mn-54 y otros, se pueden encontrar productos de fisión como el Sr-89, Sr-90, Y-90, Zr-95, Nb-95, Ru-106, I-131, Cs-137, Ba-140, Ce-144, entre otros.

Existen muchos estudios que relacionan los radionucleidos de mayor interés presentes en el agua, sedimentos y seres orgánicos de la biota marina, con las concentraciones de los elementos y los organismos o medio inerte que resultan indicadores para la detección del radionucleido y el órgano o tejido crítico.

Hay que tener en cuenta también que las lluvias radiactivas enriquecen y enmascaran la contaminación de los litorales.

El tercer punto a tener en cuenta es el de la protección de los acuíferos subterráneos de cualquier tipo

de contaminación que pueda producirse.

En estos tres puntos: emisión de calor o contaminación térmica, presencia de radionucleidos en el efluente líquido y protección de acuíferos subterráneos, deberá centrarse el estudio y análisis de las medidas de protección ambiental que plantean las centrales nucleares en cuanto a conservación y protección de las aguas.

RESIDUOS RADIACTIVOS SOLIDOS

En relación con los residuos radiactivos sólidos, tanto los producidos originalmente en este estado como lo que se han solidificado para mejorar y asegurar las condiciones de manipulación, hay que distinguir tres fases operativas, cada una de las cuales exige un estudio cuidadoso.

La primera corresponde a los residuos que diariamente genera la central en su funcionamiento normal y que en España se vienen almacenando en la propia planta en silos blindados durante períodos de cinco años. En este tiempo, los elementos de período de semidesintegración corto se desintegran y con ello queda eliminado parte del riesgo.

La segunda fase corresponde al transporte y manipulación de los residuos radiactivos sólidos, operaciones que se realizan de acuerdo con las medidas de seguridad que existen al respecto en todos los países y de acuerdo con las recomendaciones de los Organismos Internacionales en materia de protección radiológica.

La tercera fase se refiere al almacenamiento final de las materias radiactivas residuales, tema que exige un estudio adecuado e independiente, y que es realmente el gran problema de la energía nuclear.

IMPACTO AMBIENTAL EN UNA CENTRAL NUCLEAR
METODOLOGIA PARA SU EVALUACION

La evaluación del impacto ambiental de una determinada Central, en una localización concreta trata de comprobar una serie de supuestos y de estudiar posibles efectos.

Partiendo de un proyecto definido, es decir de un tipo de Central Nuclear, con determinadas características de su reactor, que son datos conocidos, de una cierta potencia en cuanto al Grupo o Grupos que se analizan y con un emplazamiento definido, la metodología a seguir puede ser la siguiente:

1. - Estudio detallado de las características de la Central:

- Tipo de reactor
- Grupos existentes
- Potencia eléctrica y térmica del Grupo o Grupos
- Ampliaciones futuras previstas
- Centrales de referencia. Estudio de sus características

2. - Estudios de demografía local y turística

3. - Revisión de los factores técnicos de localización: sismología; geología e hidrología; meteorología; topografía y geografía; recursos de agua para suministro de agua de refrigeración; estudios de infaestructura (accesos y comunicaciones, líneas de transporte de energía eléctrica, distancia a centros de consumo).

4.- Análisis de las actividades económicas de la zona (industriales, pesqueras y agropecuarias).

5.- Estudios específicos de meso y micrometeorología de la zona.

6.- Estudio bioecológico (especies vegetales y fauna)

7.- Estudios de dinámica marina, si está junto al mar.

8.- Radioactividad natural y contaminación de fondo existente.

9.- Retención en sedimentos y movimiento de los mismos.

10.- Análisis cualitativo, y cuantitativo si es posible, de las emisiones en funcionamiento normal de la Central, según el tipo de reactor, diseño y características del mismo. Emisión térmica y emisión de radiaciones ionizantes.

11.- Definición del mayor escape verosimil de productos de fisión.

12.- Cálculo de la actividad que escapa a la atmósfera y la de los vertidos líquidos.

13.- Estudios de difusión para determinar la dispersión de los contaminantes, tanto en el medio atmosférico como en el acuático, y cálculo de los valores de inmisión (actividades) que resultan.

14.- Comparación de los valores de inmisión resultantes con los de referencia establecidos (señalados en los criterios de seguridad, de protección radiológica).

15.- Estudio de las medidas correctoras precisas, si procede.

16.- Determinación de los caminos críticos por los que los radionucleidos pueden llegar al hombre.

17.- Análisis de la acción de los vertidos sobre el biótopo y la biocenosis y sobre el medio humano, o sea evaluación del impacto.

18.- Recomendaciones.

En la figura 5.6.1 aparece un Diagrama de metodología para efectuar la evaluación.

Opcionalmente, según el caso de que se trate y según los resultados, se estudiarán otras alternativas de emplazamiento o de tipo de central.

En todos los casos y por las previsibles ampliaciones, se estudiarán las previsiones que existan sobre tales ampliaciones y se proyectarán los resultados del estudio sobre las potencias finales que resulten.

Los estudios que se han citado pueden hacerse de dos formas:

- Realizándolos de nuevo por el Equipo o Entidad que lleva a cabo las evaluación de impacto, o
- Revisando y analizando los estudios ya hechos por la enpresa explotadora de la Central, por cuanto la

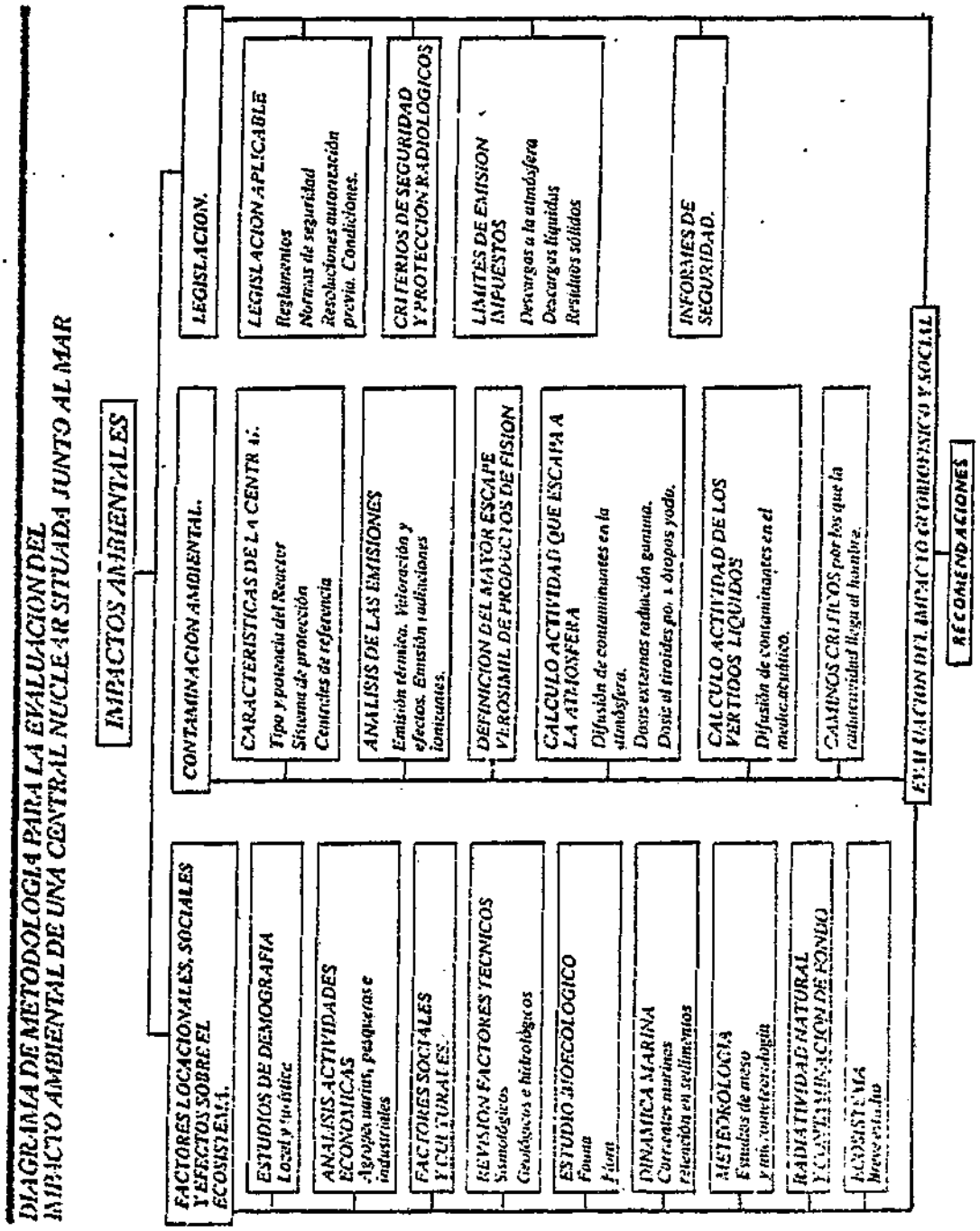


DIAGRAMA DE METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UNA CENTRAL NUCLEAR SITUADA JUNTO AL MAR
IMPACTOS AMBIENTALES
LEGISLACION.
LEGISLACION APLICABLE
Reglamentos
Normas de seguridad
Resoluciones autorización previa. Condiciones.
CRITERIOS DE SEGURIDAD Y PROTECCION RADIOLOGICOS
LIMITES DE EMISION IMPUESTOS
Descargas a la atmósfera
Descargas líquidas
Residuos sólidos
INFORMES DE SEGURIDAD.
CONTAMINACION AMBIENTAL.
CARACTERISTICAS DE LA CENTRAL.
Tipo y potencia del Reactor
Sistema de protección
Centrales de referencia
ANALISIS DE LAS EMISIONES
Emisión térmica. Vaporización y efectos. Emisión radiaciones ionizantes.
DEFINICION DEL MAYOR ESCAPE VEROSIMIL DE PRODUCTOS DE FISION
CALCULO ACTIVIDAD QUE ESCAPA A LA ATMOSFERA
Difusión de contaminantes en la atmósfera.
Dosis externas radiación gamma.
Dosis al tiroides gas. y dióxido yodo.
CALCULO ACTIVIDAD DE LOS VERTIDOS LIQUIDOS
Difusión de contaminantes en el medio acuático.
CAMINOS CRITICOS por los que la radiactividad llega al hombre.
EVALUACION DEL IMPACTO GEOMORFOLOGICO Y SOCIAL
RECOMENDACIONES
FACTORES LOCACIONALES, SOCIALES Y EFECTOS SOBRE EL ECOSISTEMA.
ESTUDIOS DE DEMOGRAFIA
Local y turística
ANALISIS ACTIVIDADES ECONOMICAS
Agropecuarias, pesqueras e industriales
FACTORES SOCIALES Y CULTURALES.
REVISION FACTORES TECNICOS
Sismológicos
Geológicos e hidrológicos
ESTUDIO BIOECOLOGICO
Fauna
Flora
DINAMICA MARINA
Corrientes marinas
Retención en sedimentos
METEOROLOGIA
Estudios de meso y micrometeorología
RADIACTIVIDAD NATURAL Y CONTAMINACION DE FONDO
ECOSISTEMA
Mesoestudio

Administración exige una serie completa y detallada de estudios y proyectos, que obligatoriamente deben hacerse.

Al llegar a este punto hay que recordar algo que se plantea siempre que se trata de los estudios de E.I.A. Es decir que uno de los puntos que no está muy claro es quién debe efectuar las evaluaciones de Impacto, si la Administración (lo que en España, al menos, es tan difícil que yo diría que es imposible) o una empresa especializada, una empresa de estudios o de ingeniería. Entonces viene la segunda parte, quién debe pagarlo? Es muy costoso.

Sin resolver este problema pasamos al punto que queríamos comentar y es que, como puede verse en el simple esquema de metedología, hace falta en primer lugar, una gran información de base que la empresa eléctrica debe suministrar. Pero va a suministrarla?

Será necesario un mandato de la Administración para disponer de ella?

El disponer de una información de base veraz y amplia es fundamental.

En rigor, parece que las evaluaciones de impacto de una determinada instalación o proyecto deben enfocarse en tres momentos:

- Durante la construcción
- En funcionamiento, al ponerse en marcha
- A largo plazo (como mínimo unos 10 años)

En el primer punto no lo vamos a mencionar, por falta material de tiempo. Del segundo es del que nos ocupamos fundamentalmente y del tercero, que no abordaríamos en otros casos, si nos vamos a ocupar y ello por dos razones fundamentales:

- La primera se debe al carácter acumulativo de ciertos efectos radiactivos
- La segunda que es muy raro que una Central de este tipo se quede sin ampliaciones. Generalmente cuando se instala el primer grupo se tienen en mente posibles ampliaciones y así tenemos Centrales, no sólo nucleares, sino también las térmicas convencionales, con 2, 3, 4, 5 y más Grupos. Es lógico puesto que hay una serie de elementos comunes de servicios e infraestructuras que ya existen y por consiguiente una ampliación es mucho más barata que una nueva instalación. Por otra parte, la demanda de energía es enormemente dinámica y este supuesto es casi seguro que se nos va a dar.

Um evaluación completa de impacto ambiental debe incluir, aunque no es fácil, una valoración de los cotes ecológicos además de los monetarios. Es decir, una valoración del coste de las externalidades para internalizarlo. Por consiguiente, una evaluación completa debe comprender las siguientes evaluaciones, efectuadas paralelamente y de forma integrada:

- la tecnología
- la monetaria en coste- beneficio directo y estrictamente económico
- la ecológica incluyendo los costes ecológicos y la valoración coste-beneficio y/o riesgo-beneficio, o mejor aún como se viene imponiendo, coste-eficacia.

Sin embargo, aquí vamos a realizar una revisión sólo de parte de impactos geobiofísicos y social. La propia evaluación económica, requeriría mucho más tiempo del que disponemos y no es sencillo aplicar a es-

te caso los conceptos e instrumentos que existen hasta la fecha en la economía clásica.

Estudio detallado de las características de la Central

Una vez estudiado este punto es posible proceder ya de forma cualitativa y cuantitativa a evaluar las "emisiones" de sustancias y materiales procedentes del funcionamiento de la Central.

El tipo o tipos de reactores a instalar y su tamaño es de importancia fundamental, ya que las emisiones de radiactividad y la eliminación de residuos son función directa de ambas variables.

Parece ser que como ya hemos dicho, hasta 1990 los reactores nucleares que se instalen en España serán del tipo uranio enriquecido, refrigerado y moderado por agua ligera, en sus dos versiones de agua a presión y agua en ebullición (PWR y BWR). A partir de 1990 a estos tipos de reactores se añadirán los reproductores rápidos y tal vez, algún convertidor avanzado. En estos momentos no se sabe exactamente la fecha para la comercialización de los FBR, pero quizás puedan comercializarse antes de 1990. Por tanto, a partir de esa fecha podría haber tantos reactores rápidos como permitiera la disponibilidad de plutonio del país. Genealmente, se piensa que podrá instalarse un reactor rápido (FBR) por cada 10 reactores de agua ligera (LWR) de la misma potencia.

Respecto al tamaño parece que en España se tiende a Grupos normalizados de potencia unitaria entre 900-1000 MW_e y en el mundo entre 900-1200 MW_e y tanto para los reactores de agua ligera como para los rápidos. Se tiende también a instalar dos PWR por cada BWR.

La previsión de instalación de centrales nucleares en España es alta. En las Tablas 5.6.3 y 5.6.4 se indican las previsiones de la demanda de energía primaria y de energía eléctica en 1977, 1982 y 1987.

TABLA 5.6.3

PREVISION DE LA DEMANDA DE ENERGIA PRIMARIA

TOTAL ESPAÑA

UNIDAD: MILLONES DE Tec

	1977 (1)		1982 (2)		1987 (2)	
	M Tec	%	M Tec	%	M Tec	%
ENERGIA HIDRAULICA	14,6	14,8	13,0	10,6	14,9	9,6
CARBON	16,1	16,3	22,8	18,5	29,8	19,4
PETROLEO	64,1	64,8	69,0	56,0	74,4	48,5
GAS NATURAL	2,0	2,0	8,1	6,6	12,3	8,0
ENERGIA NUCLEAR	2,1	2,1	10,3	8,3	22,3	14,5
CONSUMO INTERIOR BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA	98,9	100,0	123,2	100,0	153,6	100,0
CONSUMO PER CAPITA (Tec/HABITANTE)	2,7		3,2		3,8	

(1) Estimación para 1977 basada en la hidraulicidad real del año

(2) En año hidraúlico medio.

TABLA 5.6.4

PREVISION DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA

TOTAL ESPAÑA

UNIDAD: TWh

	1977 (1)		1982 (2)		1987 (2)	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
ENERGIA HIDRAULICA	41,5	45,3	36,9	29,8	41,9	23,9
CARBON	19,0	20,7	29,1	23,5	39,1	22,3
COMBUSTIBLES LIQ. Y GAS	25,2	27,5	28,6	23,1	31,2	17,8
ENERGIA NUCLEAR	6,0	6,5	29,3	23,6	63,1	36,0
TOTAL SECTOR ELECTRICO (3)	91,7	100,0	123,9	100,0	175,3	100,0
ENERGIA PRIMARIA EQUIV EN 10^6 Tec	32,4		43,7		61,9	
DEMANDA INTERIOR BRUTA DE ENERGIA	98,9		123,2		153,6	
PARTICIPACION DE LA ENERGIA ELECTRICA EN %	32,8		35,5		40,3	

(1) Estimación para 1977 con la hidraulicidad real del año

(2) En año hidráulico medio.

(3) Cifras en bornes de alternador.

En la tabla 5.6.5 se señala una previsión de la potencia eléctrica instalada para los mismos años y en la Tabla 5.6.6 una relación del número de reactores y potencia global de los mismos, en 1975 y previsión 1980 en varios países.

TABLA 5.6.5

PREVISION DE LA POTENCIA ELECTRICA INSTALADA

TOTAL UNESA

UNIDAD: GW

	1977		1982		1987	
	GW	%	GW	%	GW	%
HIDRAULICA (Incl. bombeo)	12,5	47,9	14,6	39,0	18,2	36,8
CARBON	3,8	14,6	6,5	17,4	8,7	17,6
COMBUSTIBLES LIQ. Y GAS.	8,8	33,7	9,7	25,9	10,0	20,2
NUCLEAR	1,0	3,8	6,6	17,7	12,6	25,4
	26,1	100,0	37,4	100,0	49,5	100,0

TABLA 5.6.6

País	1975		1980 (previsión)	
	Reactores	Potencia	Reactores	Potencia
Alemania Democrática	3	960	5	1.840
Alemania Federal	9	5.487	20	13.793
Argentina	1	340	3	989
Austria		–	1	724
Bélgica	4	1.751	6	3.665
Brasil		-	1	657
Bulgaria	2	880	4	1.760
Canadá	7	2.671	14	7.728
Corea del Sur		-	1	595
España	3	1.120	12	9.774
Estados Unidos	57	40.256	105	91.402
Finlandia		-	4	2.262
Francia	9	3.047	28	21.100
Hungría		–	1	440
India	3	640	7	1.565
Irán	–	-	1	1.293
Italia	3	640	5	2.464
Japón	13	6.627	35	16.225
México	–		2	1.348
Pakistán	1	140	1	140
Países Bajos	2	532	2	532
Rumania	-	-	1	440
Reino Unido	32	7.715	39	12.974
Suecia	3	1.295	10	7.675
Suiza	3	1.054	6	4.336
Taiwan	-	-	4	3.243
URSS	22	5.565	40	19.600
Yugoslavia	-		1	664
TOTAL	181	80.873	351	220.080

Quizás la parte más difícil del estudio y que es imprescindible, sea el disponer de datos veraces y amplios de las características de la Central en cuanto a la caldera nuclear, combustible nuclear y sistemas de contención, si no se realiza el estudio por encargo y para la empresa explotadora de la Central, porque suele haber una gran reacción a facilitar estos datos y ello por diversas razones.

Generalmente, las Centrales Nucleares se construyen tomando como "Centrales de referencia" otras semejantes ya en funcionamiento y concretamente la Administración española así lo exige. Esto puede facilitar la disponibilidad de datos de base, que son los que permitirán efectuar un análisis de las emisiones, pero de cualuier modo es preciso disponer de esos datos.

En la evaluación del impacto físico y más concretamente en el estudio de los aspectos radiológicos, hay que tener en cuenta dos consideraciones aplicables a las centrales nucleares: la primera concierne a los aspectos radiológicos en funcionamiento normal de la central y la segunda se centra en las consecuencias que provocaría un escape accidental de productos radiactivos. En este último caso se opera con las condiciones del mayor escape verosimil, en que se supone que el accidente libera del núcleo del reactor todos los gases nobles de fisión y la cuarta parte de los isótopos de yodo acumulados.

El segundo supuesto, el de la definición del mayor escape verosimil, impone lógicamente condicionamientos más restrictivos que el primero.

Una vez identificadas (o sea analizadas y evaluadas) las potenciales emisiones de agentes contaminantes, juntamente con los estudios de meteorología, dinámica marina y geografía de la zona se puede establecer la dispersión de stos conteminantes en el aire y la difusión en el agua mediante el empleo de los correspondientes modelos físico -matemáticos y con ello determinar las actividades resultantes, tanto en tierra como en el medio acuático y a partir de ahí, evaluar la incidencia de los vertidos sobre:

- el hombre (o sea sobre la salud)
- el ecosistema (excluido del hombre)

Naturalmente, habrá que comparar los valores de inmisiones que resulten con los especificados en los criterios de seguridad, para ver si están dentro de los valores admisibles.

Paralelamente a estas evaluaciones hay que hacer una serie de estudios, entre los que voy a citar los siguientes:

- Estudios de domografía local y turística, considerando los correspondientes criterios de protección radiológica y los de aislamiento.

- Revisión de los factores técnicos de localización; sismología; geología e hidrogeología; meteorología; recursos de agua para suministro de agua de refrigeración; estudios de infraestructura (accesos y comunicaciones, líneas de transporte de energía eléctrica, distancia a centros de consumo).

- Análisis de las actividades industriales, pesqueras y agropecuarias de la zona, desde el punto de vista económico y sociológico

- Estudios específicos de meso y micrometeorología de la zona.

- Estudios de dinámica marina

- Estudio bioecológico (especies vegetales y fauna)

- Radiactividad natural y contaminación de fondo existente (Estado cero).

Retención en sedimentos y movimientos de los mismos.

ECOSISTEMA

Más que un estudio del ecosistema, lo que sería excesivamente complejo y el caso de las Centrales Nucleares ya es bastante complicado, lo que conviene hacer es algunas consideraciones sobre el ecosistema. Este breve estudio del ecosistema debe centrarse en dos áreas:

a) Conocimiento y estudio de los diferentes biotopos y sus biocenosis de una amplia zona, en el entorno de la Central.

b) Estudio concreto y característico del biotopo y biocenosis correspondiente a la zona de localización de la Central, efectuado a través de la recogida de datos "in situ" por un equipo de biólogos.

En especial deberá considerarse la selección de las especies marinas que representan los distintos niveles tróficos y el exámen de los distintos representantes de los eslabones de la cadena alimentaria que estén presentes en el biotopo.

Criterios de protección radiológica

Los límites de vertidos de efluentes gaseosos o líquidos y residuos sólidos se fijan como consecuencia de unas tasas de inmisión de radionucleidos o radiaciones, es decir se limitan las emisiones a través de unos valores de inmisión.

En España se están siguiendo las siguientes directrices, de acuerdo con las recomendaciones internacionales más estrictas sobre esta materia.

A) Los residuos radiactivos que se evacuen de las centrales a través de las descargas líquidas han de estar limitadas de forma que:

a) La dosis máxima anual recibida en todo el cuerpo o en cualquier órgano de un individuo que se encuentre fuera de los límites de la propiedad del explotador a causa de la actividad evacuada por el conjunto de las unidades ubicadas en el emplazamiento, no debe ser superior a cinco milirem, teniendo en cuenta todos los caminos de exposición.

b) La actividad total descargada por las distintas unidades, con exclusión del tritio y gases disueltos, no será superior a uno y medio curio por unidad y por año.

B) Los residuos radiactivos que se evacuen por el conjunto de unidades de las centrales, en forma gaseosa han de estar limitados de modo que:

a) La dosis estimada anual en aire, a nivel del suelo y a causa de los fotones, en cualquier punto fuera de los límites de la propiedad del explotador, no debe ser superior a diez milirad.

b) La dosis estimada anual en aire, a nivel del suelo, a vausa de las partículas beta, en cualquier punto fuera de la propiedad del explotador, no debe ser superior a veinte milirad.

c) La dosis estimada anual a un individuo que se encuentre fuera de los límites de la propiedad del explotador no será superior a cinco milirem a todo el cuerpo o quince milirem a la piel.

Para determinar estas dosis, es decir para correlacionar los valores de inmisión con las emisiones, es preciso efectuar los correspondientes estudios micro y mesometeorológicos que permitan establecer las características y condiciones en que se realiza la difusión de estos contaminantes en la atmósfera.

C) Los residuos radiactivos que se evacuen de las centrales en forma de aerosoles que incluyan los radioisótopos del yodo, han de estar limitados de modo que:

a) Para un individuo que se encuentre fuera de la propiedad del explotador, la dosis máxima anual en la glándula tiroides a causa de la inhalación o ingestión de yodo radiactivo, no debe ser superior a quince milirem.

b) La actividad total de I-131 que se descargue en forma de aerosol no debe ser superior a un curio por reactor y por año.

6.5. TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

Razones de proximidad de la fuente de energía primaria (hidráulica, mina carbón), de facilidad de suministro (carbón, fuel, gas), disponibilidad de agua de refrigeración, o razones de seguridad o de defensa del medio, obligan a instalar las Centrales Generadoras lejos de los centros de consumo lo que precisa líneas de transporte y distribución. Es precisamente la " facilidad de transporte" la propiedad que, junto a la "limpieza", hace más cómodo el uso de la energía eléctrica. Sin embargo este transporte incide también en el medio ambiente en tres manifestaciones.

6.5.1 Lineas de Alta y muy Alta Tensión

Son las que realmente constituyen la red de transporte, que son, casi totalmente, líneas aéreas apoyadas en torres metálicas (normalmente de celosía). La estética de los apoyos en contraste con el paisaje es la que ha de cuidarse de forma que sean "esbeltas" y "transparentes" a fín de que se disimulen lo posible. Los "pasillos" que han de talarse en bosques y la localización de los apoyos en campos, prados y urbanizaciones son inconvenientes que perturban el medio.

6.5.2. Líneas de Media y Baja Tensión

Forman las redes de Distribución desde los centros transformadores a los centros de consumo, pueden ser "rurales" o "urbanas". Las primeras tienen una incidencia similar a las de alta tensión pero con mucha menor intensidad ya que son apoyos más bajos y no suelen precisar pasillos talados . Las urbanas que no se han transformado en subterráneas afean las calles al cruzarlas o al sujetarse sobre postes en las aceras.

6.5.3 Estaciones Transformadoras

Comprenden dos tipos: grandes Centros de Alta-Media o grandes de Media Baja que son poco numerosos pero ocupan grandes extensiones de terreno relativamente lejos del casco urbano, con muchos equipos de intemperie o en edificios especiales que no ofrecen grandes perturbaciones del medio ambiente por su localización y diseño.

Pequeñas Estaciones Media-Baja muy numerosas distribuidas cerca o en los mismos cascos urbanos de

las ciudades, en casetas aisladas o en los mismos edificios. Presentan relativamente poco problema estético respecto de los alrededores, pero sobre todo aparece en ellas la "contaminación sonora" de los transformadores, condensadores rotativos y disparos de los interruptores.

6.6. CONCLUSION

Quedaría por exponer aquí, para completar el proceso de creación del suministro energético, los problemas ecológicos creados por el último escalón: El consumo final de energía, sobre todo de los combustibles fósiles sólidos (carbones) y líquidos (derivados del petróleo) no dedicados a la transformación en energía secundaría. Es decir las diferentes contaminaciones debidas a la industria, usos domésticos, calefacciones varias, vehículos automóviles, etc. Pero además de representar incidencias en el medio ambiente, parecidas a las expuestas, no pertenece a este grupo de temas que estamos tratando, únicamente relacionaremos aquí la proporción de importancia de las diferentes fuentes contaminantes en el siguiente cuadro, en el que se puede observar que son los automóviles los que, en los tres tipos de contaminantes atmosféricos, dan una proporción máxima en las zonas urbanas.

Fuentes de emisión de las zonas urbanas

Origen	Porcentaje de cada contaminante		
	Hidrocarburos	CO	NO_x
Automóviles	50-65	77-87	40-50
Camiones, autobuses, etc.	5-10	8-10	8-13
Fuentes estacionarias	25-45	3-15	37-52

TEMA 6

ALIMENTACION - RECURSOS

ELABORADO POR :

M. F. SANCHEZ OJANGUREN

INDICE

	Pag.
1. - RECURSOS Y NECESIDADES	1
2. - PLANIFICACION INTEGRAL.....	2
3. - POSIBLES SOLUCIONES AL PROBLEMA....	4
4. - ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE.....	19
5. - BIBLIOGRAFIA	25.

El rápido aumento de la diferencia entre las tasas de crecimiento de la población y de la producción de alimentos plantea la necesidad de tomar medidas con urgencia. A corto plazo, es necesario tomarlas para aumentar la oferta de alimentos, porque es más fácil que controlar el crecimiento de la población.

Pero no sólo se presenta el problema de aumentar la oferta de alimentos, sino, además es necesario que estos constituyan una alimentación cada vez más racional y rica, necesaria para el desarrollo completo de los pueblos.

Tradicionalmente, se ha pensado en solucionar estos problemas fomentando la producción agropecuaria; pero sólo hace relativamente poco, se ha comprendido que es necesario actuar sobre otros dos aspectos. Uno es, y de manera urgente, conservar los suministros de alimentos actuales. Estos constituyen, pues, los recursos reales. Y otro estimular la investigación sobre nuevas fuentes de alimentación, que constituirán los recursos futuros.

La escasez de proteínas a escala mundial aumenta continuamente. Hay que tener en cuenta que según todas las estimaciones el número de individuos que poblarán la tierra para el año 2000 estará entre 6000 y 7000 millones.

Actualmente, casi el 70% de la población total pasa hambre, un 20% por alimentación insuficiente y un 60% tiene una alimentación defectuosa porque carece de las cantidades suficientes de componentes tales como vitaminas, minerales y en especial proteínas.

Es necesario dada la gravedad y premura de la situación, desarrollar una planificación integral de todos los aspectos que constituyen el ciclo alimentario.

Para ello, se ha de tener en cuenta que existen varios puntos a través de los cuales se podría paliar dicha situación.

La coordinación de la investigación sobre estos puntos, así como otros que pudieran surgir, corre a cargo de Organizaciones promovidas por las grandes potencias.

Entre ellas cabe destacar la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -- (F.A.O.), que se encarga de determinar tanto las necesidades alimenticias mundiales, como de sufragar los gastos originados por las investigaciones sobre nuevos métodos de tratamiento y almacenamiento de los alimentos tradicionales y obtención de nuevos alimentos.

Esta Organización recibe el apoyo de otras. Este es el caso de la O.I.E.A. Organización Internacional de Energía Atómica, de la O.C.D.E., Organización de Coperación y Desarrollo Económico, de la O.M.S. - Organización Mundial de la Salud, y de la A.E.D.A. Asociación Europea para el Derecho Alimentario, entre otras.

Los principales objetivos a tener en cuenta dentro de la planificación integral son:

-Protección del consumidor: Salud Pública y Nutrición.

- Información y Documentación en el campo alimentario a la propia Administración, a los sectores industriales, a los medios de información y a los propios consumidores.

Estos objetivos se consiguen mediante las siguientes funciones:

2.1. EN EL AMBITO DE LA ALIMENTACION

-Respaldo analítico de los Registros sanitarios establecidos

- Controles esporádicos periódicos de composición y estado sanitario de los alimentos, bebidas y productos alimentarios a nivel industrial, de comercio expendedor o del propio consumidor.

- Mapas mundiales de composición de alimentos naturales y tranoformados de consumo en los distintos - paises, tanto nacionales como internacionales.

- Mapas mundiales sobre contenido microbiológico de los alimentos y bebidas de consumo.

- Estudios sobre identificación y cuantificación de los aditivos alimentarios

- Estudios sobre contaminaciones residuales, en alimentos, bebidas y aproductos alimentarios, por plaguicidas, detergentes, desinfectantes, desinsectantes, metales pesados, plásticos, barnices, resinas de recubrimiento, radionucleidos, etc.

- Estudios sobre contaminantes biológicos (gérmenes y sus toxinas, artrópodos, gusanos y otros parásitos)

2.2. EN EL AMBITO DE LA NUTRICION

- Investigación del estado de nutrición de los diferentes niveles sociales en todo el mundo (estudio, con amplia estadística, de enfermedades existentes, en los que la alimentación defectuosa juega un importante papel).

- Investigación de la dieta media actual en los diferentes grupos de la población mundial, para deducir las soluciones más urgentes, con el fin de facilitar la dieta límite suficiente en cantidad y calidad.

- Conocimiento de las dietas medias normales, sus deficiencias, las dietas de sustitución de buen valor higiénico, dentro del mismo valor económico, reparto y sustitución necesaria de los productos alimenticios.

- Conocimiento de las enfermedades aparentes o larvaderas debidas a deficiencias alimenticias.

- Conocimiento de las características metabólicas y del valor alimenticio y biológico de los alimentos consumidos.

2.3. EN EL AMBITO DE LA INFORMACION

- Recopilación legislativa mundial en los aspectos de la alimentación y la nutrición.

- Realización de estudios estadísticos, en base a la labor analítica y experimental.

- Redacción de proyectos y estudios previos sobre reglamentaciones técnico-sanitarias, normas específicas métodos de análisis, listas positivas y negativas de aditivos y contaminantes.

- Labor asesora e informativa a distintos niveles.

Dentro de las distintas posibles soluciones, se pasará revista algunas de ellas, desde el punto de vista técnico y científico, sin entrar en detalles políticos o sociales.

3.1. METODOS DE CONSERVACION DE LOS ALIMENTOS

Actualmente, un número cada vez mayor de instituciones de todo el mundo está prestanto más atención a la prevención de pérdidas después de la cosecha, mediante la aplicación de técnicas idóneas de almacenamiento. La producción agropecuaria aumenta, en promedio, solo un bajo porcentaje. Las pérdidas anuales de alimentos por otra parte, ascienden al 10-15 por 100. Su eliminación o reducción drástica aumentaría mucho la cantidad de los alimentos disponibles, y, además se ahorraría la energía gastada en producirlos.

Lo dicho significa que la conservación de alimentos es de vital importancia y conviene aplicar todos los métodos para lograrlo, empleando tanto las técnicas tradicionales como las nuevas.

Entre estas técnicas se encuentran la radiación ionizante y la congelación

-Radiación Ionizante

La conservación de los alimentos por radiación ionizante, que suele denominarse " irradiación", es uno de los métodos relativamente nuevos y prometedores cuya difusión reportará probablemente muchas ventajas.

El proceso de irradiacción prolonga la duración de los alimentos almacenados, sin que cambie de manera notable sus características: no deja residuos químicos, elimina los patógenos, es sencillo, es seguro y requiere poca energía.

En dicho proceso se emplean radiaciones ionizantes de dos tipos principales.

- Los rayos γ emitidos por isótopos tales como los de cobalto (^{60}Co) y del cesio (^{137}Cs), que son radiaciones electromagnéticos y sólo se diferencian de los rayos del sol y de los rayos X por su longitud de onda.

- Los rayos electrónicos, producidos por los aceleradores, que son radiaciones corpusculares de partículas cargadas eléctricamente, similares a los rayos beta que emiten ciertos isótopos.

Cuando se emplea este procedimiento los alimentos deben estar totalmente separados de la fuente de radiación. El isótopo se coloca en una cápsula de doble pared metálica, que solo los rayos gamma pueden atravesar, y no el isótopo. En esta forma, es imposible que el alimento se pueda contaminar con el isótopo.

Las radiaciones sirven para retardar los procesos fisiológicos en las frutas y verduras que, de lo contrario, experimentarían cambios indeseables, a saber: brotarían las patatas, los boniatos, y las cebollas y se pasarían las frutas maduras tales como los mangos, los albaricoques, etc. Estas mismas radicaciones pueden retardar o suprimir la actividad microbiana (por ejemplo, la pútrefacción y el enmohecimiento) matar aquellos organismos que constituyen un peligro para la salud pública y destruir o reducir el número de de insectos que atacan alimentos tales como dátiles, pescado, o cereales secos.

Este proceso tiene particularmente las ventajas siguientes:

- como no se eleva de manera apreciable la temperatura (1-4°C como máximo), es útil para alimentos congelados o concentrados viscosos, porque no altera la consistencia del producto.

- como las radiaciones pueden penetrar hasta el centro de productos voluminosos, estos se pueden someter al tratamiento despues de envasados.

- requiere poca energía, y

- no quedan residuos químicos en los productos.

A pesar de las muchas ventajas que tiene este método de conservación de los alimentos, conocido desde hace 20 años, es sorprendente observar su escasa difusión.

Esto se debe probablemente a causas psicológicas. Durante mucho tiempo, se ha dudado de la inocuidad (" salubridad") de los alimentos irradiados. Esto ha impedido la realización de experimentos a nivel industrial, retardando así su evolución económica a una escala suficientemente grande.

En la actualidad, 26 productos en total han sido aprobados, con o sin limitaciones, en uno o más de los diecinueve países en los que hay leyes sobre alimentos irradiados. Así, las patatas irradiadas se aprobaron por primera vez en la URSS en 1958, etc.

Tecnologia del frio

Es uno de los mejores procedimientos para conservar los alimentos, pues conserva sus propiedades, tales como olor, sabor y los nutrientes.

La cristalización del agua y sus solutos es de fundamental importancia en estos tratamientos. Dicha cristalización se basa en la nucleación (formación de nucleos cristalinos) y en el crecimiento de los nucleos. Ambos fenomenos son simultáneos.

La nucleación se produce al alcanzarse el punto de congelación de un líquido o una disolución, y empezarse a formar cristales del disolvente. El punto de congelación es teórico, y en él se forman los llamados nucleos de cristalización.

Existen dos tipos de nucleación:

- Homogénea. - se produce en productos puros.

- Heterogénea. - se produce en productos en los que existen partículas extrañas al sistema y sirven como apoyo a las moléculas para que cristalicen. Esto sucede en la técnica alimentaria, al existir líquidos mezclados con partículas sólidas, que favorecen la congelación.

El crecimiento de cristales se produce alrededor de los núcleos, a temperaturas cercanas a la temperatura de congelación.

La formación de cristales es más lenta cuando existe soluto que cuando la sustancia es pura, pues entorpe-

. ce el movimiento de las moléculas.

. Los dos fenomenos citados se pueden representar gráficamente de la siguiente forma.

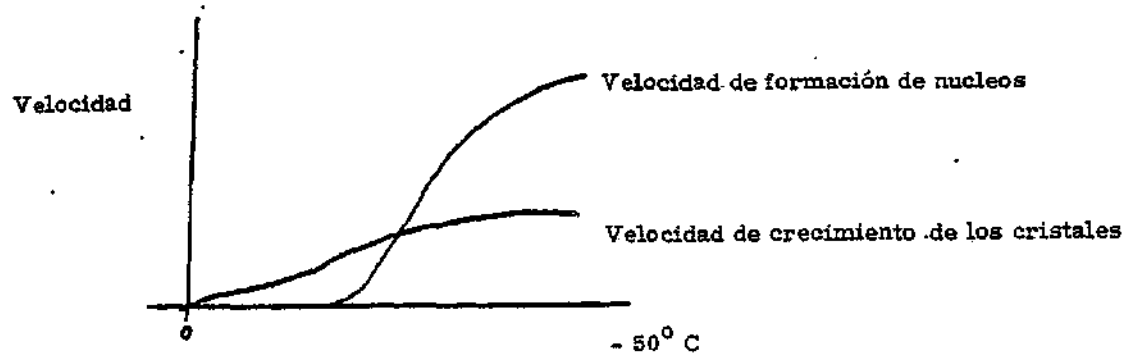


Figura 6.3.1

Si la temperatura desciende muy rapidamente (+ de 1° C por minuto) se forman núcleos en gran cantidad pero apenas crecen los cristales, se forma un estado congelado con muchos cristales pequeños.

Si la velocidad de congelación es lenta (< 1° C/min) , se forman pocos núcleos cristalinos pero se forman cristales grandes al favorecerse el crecimiento.

Luego el tamaño y número de cristales es, pues, proporcional a la velocidad de congelación.

Estos fenómenos son controlables, y simultáneamente aparece un tercer fenómeno de difícil control, y que presenta problemas de cara a una congelación óptima de los alimentos, que es la "recristalización".

La recristalización es un fenómeno que consiste en disminuir aún más la superficie libre del cristal, inestable, para llegar a una situación de mínima energía superficial.

Hay tres tipos de recristalización:

- Isomágica
- Migratoria
- Irruptiva

La más importante es la segunda.

Otro factor importante es el cambio de volumen que se produce en la cristlización. Al cristalizar el agua a 0° C, aumenta su volumen en un 9%, al disminuir aún más la temperatura, disminuye el volumen del hielo formado y también de los solutos. Al aumentar el vólumen de unas zonas y disminuir en otras, se producen tensiones que pueden dar lugar a la rotura de células. Sobre este fenómeno no es posible actuar.

La temperatura de congelación está fijada universalmente en -18 ° C. En general si se llega a -18 ° C, se podría llegar a -30° C sin mucho coste de producción. Pero resultaria difícil mantener estos -30° C en

el transporte y almacenamiento. Por tanto no tiene sentido llegar a esta temperatura.

La temperatura de congelación se fija en función de los distintos fenómenos que se tratan de combatir.

Les principales a considerar son:

- Los micoorganismos patógenos no se pueden reproducir a temperaturas inferiores a 4° C. Los demás microorganismos que deterioran los alimentos no se reproducen a temperaturas inferiores a 10° C. Al congelarse a -18° C, se tiene un factor de seguridad grande.

- Interesa eliminar el pardeo de los alimentos producido por las reacciones de oxidación enzimática. Los enzimas que catalizan esas reacciones no se desactivan a -18° C , sino a -75° C. Por ello es necesario someter al alimento a otros procesos dirigidos a su desactivación enzimática, como son tratamiento con corriente de SO_2 , con sulfitos, actuación sobre el pH del medio, recubrimiento de las frutas con jarabes de azucar. etc.

- Otro factor problemático son las reacciones químicas no enzimaticas de oxidación que ocurren cuando se pierde el control en los organismos muertos. Razón por la que la temperatura de congelación es de -18°C, pues a esta temperatura estas reacciones no se eliminar totalmente pero se aletargan.

La unidad que se maneja en la tecnología del frio es la llamada "Tonelada de refrigeración".

Una tonelada de refrigeración es igual al calor que hay que quitarle a una tonelada de agua a 0° C para obtener una tonelada de hielo a 0° C

Es necesario conocer la velocidad de refrigeración para que la temperatura descienda a un ritmo determinado.

$$Q = \frac{\Delta T}{\text{resistencia}}$$

A mayor ΔT, mayor es el Q a aliminar y más rápida la disminución de temperatura.

La composición del alimento influye en la velocidad de congelación, en presencia de grasas, por ejemplo, se tardará más en congelar, al constituir estas un magnífico aislante.

En el caso de los vegetales el problema es el aire almacenado entre las hojas, que también aisla y por tanto hay que intentar eliminarlo o hacerlo circular, para que la transmisión de calor sea más rapido.

Los métodos de congelación se pueden resumir esquemáticamente como sigue:

-<u>Por aire</u>

a) Aire quieto
b) Por corriente de aire
c) De lecho fluidizado

- Por contacto indirecto

a) Congelador de una placa
b) " " dos placas
c) " " placa a presión
d) " " escarcha

- Por inmersión

a) Inmersión en líquidos
b) *Inmersión en gases licuados*

Aunque de manera especial se han destacado la radiación y la congelación de alimentos, como métodos para el tratamiento y conservación de los alimentos, enfocados a evitar, al máximo, perdidas de los recursos alimenticios, no hay que olvidar otras técnicas, que aunque más antiguas, no por ello menos eficaces. Como son la concentración y el secado.

Mezcla de la moderna técnologia del frio y del secado, resulta un importante procedimiento, que es la liofilización.

La liofilización o criodesecación es un método de desecación controlada del producto, previamente congelado. Se efectúa en varias etapas sucesivas y permite obtener productos finales perfectamente secos y estables sin alteración de sus cualidades de origen. La figura 6.3.2 indica las principales fases de la operación.

Desde el punto de vista físico se distinguen diversos estudios representados esquemáticamente en la figura 6.3.3.

Algunos productos pueden someterse al tratamiento directamente (verduras, zumo de frutas, café, leche..) otros, por el contrario deben estar preparados de un modo especial, para satisfacer las exigencias del procedimiento. Así, las frutas, la carne, los pescados deben estar cortados y pelados. En efecto, no conviene tratar muestras de gran espesor sino más bien fragmentos de gran superficie y poco espesor.

- Congelación

Las sustancias se enfrían primero a baja temperatura. Durante esta operación el agua libre que contienen cristaliza en forma de hielo, mientras que las sustancias disueltas o productos en suspensión dan lugar la formaciones rígidas, cristalinas o vidriosas.

La congelación inicial de las sustancias que deben tratarse puede efectuarse en escala industrial, de diferentes modos. La figura 6.3.4. permite una ligera apreciación.

Cada uno de los métodos presenta ventajas y dificultades, y sobre la elección influye, en la mayoría de los casos, la conveniencia local. En todos los casos se procura enfriar lo más rapidamente posible y a la temperatura más baja, para provocar una cristalización fina, regular y lo más completa posible. Se trata, por lo demás, de técnicas clásicas utilizadas corrientemente en las explotaciones frigoríficas tradicionales.

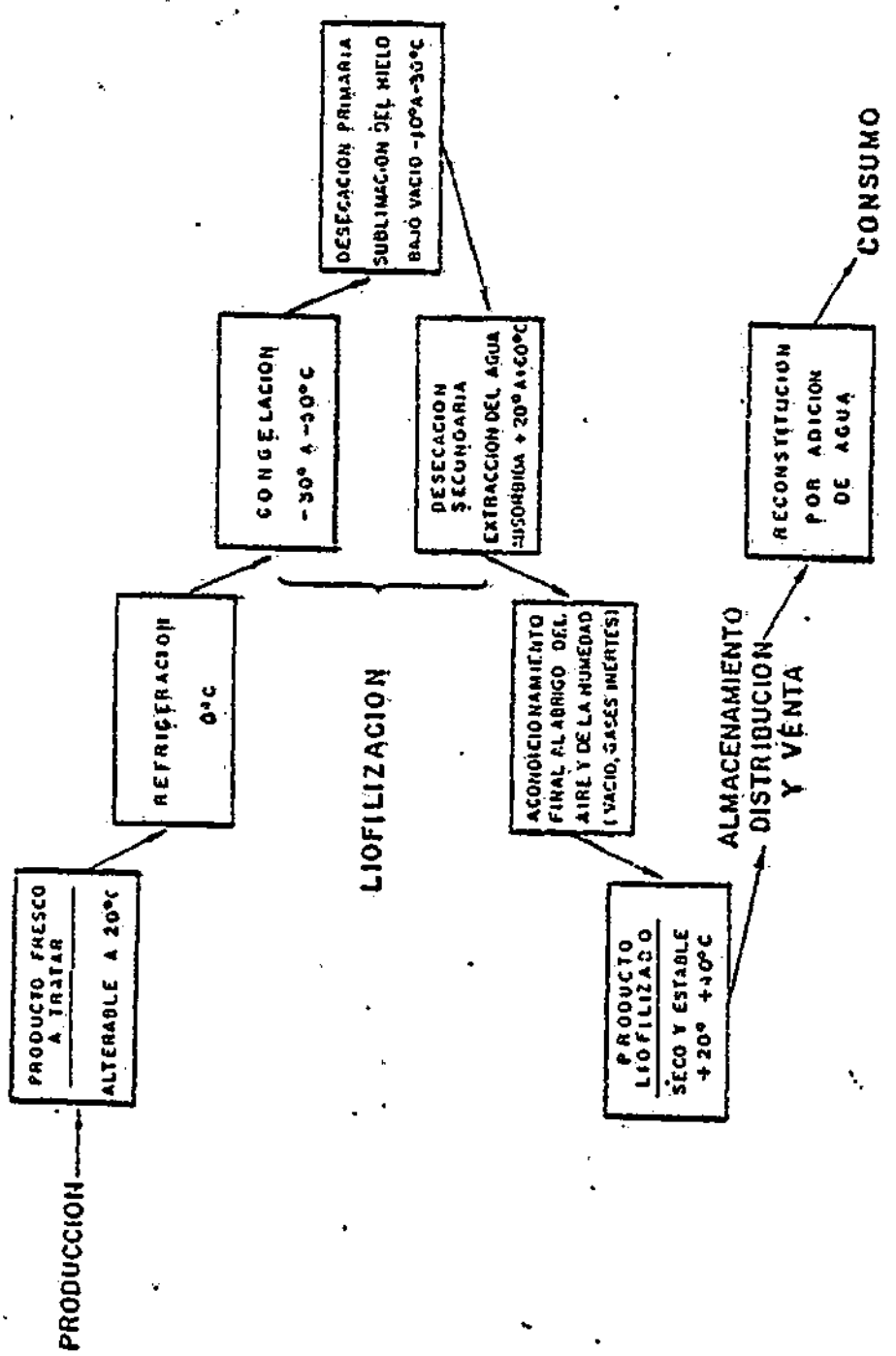

PRODUCTO FRESCO A TRATAR
ALTERABLE A 20°C
PRODUCCION
REFRIGERACION 0°C
CONGELACION -30° A -50°C
DESECACION PRIMARIA SUBLIMACION DEL HIELO BAJO VACIO -10°A-30°C
DESECACION SECUNDARIA EXTRACCION DEL AGUA HIGROSCOPICA + 20° A +60°C
LIOFILIZACION
ACONDICIONAMIENTO FINAL AL ABRIGO DEL AIRE Y DE LA HUMEDAD (VACIO, GASES INERTES)
PRODUCTO LIOFILIZADO
SECO Y ESTABLE +20° +40°C
ALMACENAMIENTO DISTRIBUCION Y VENTA
RECONSTITUCION POR ADICION DE AGUA
CONSUMO

FIGURA 6.3.2.

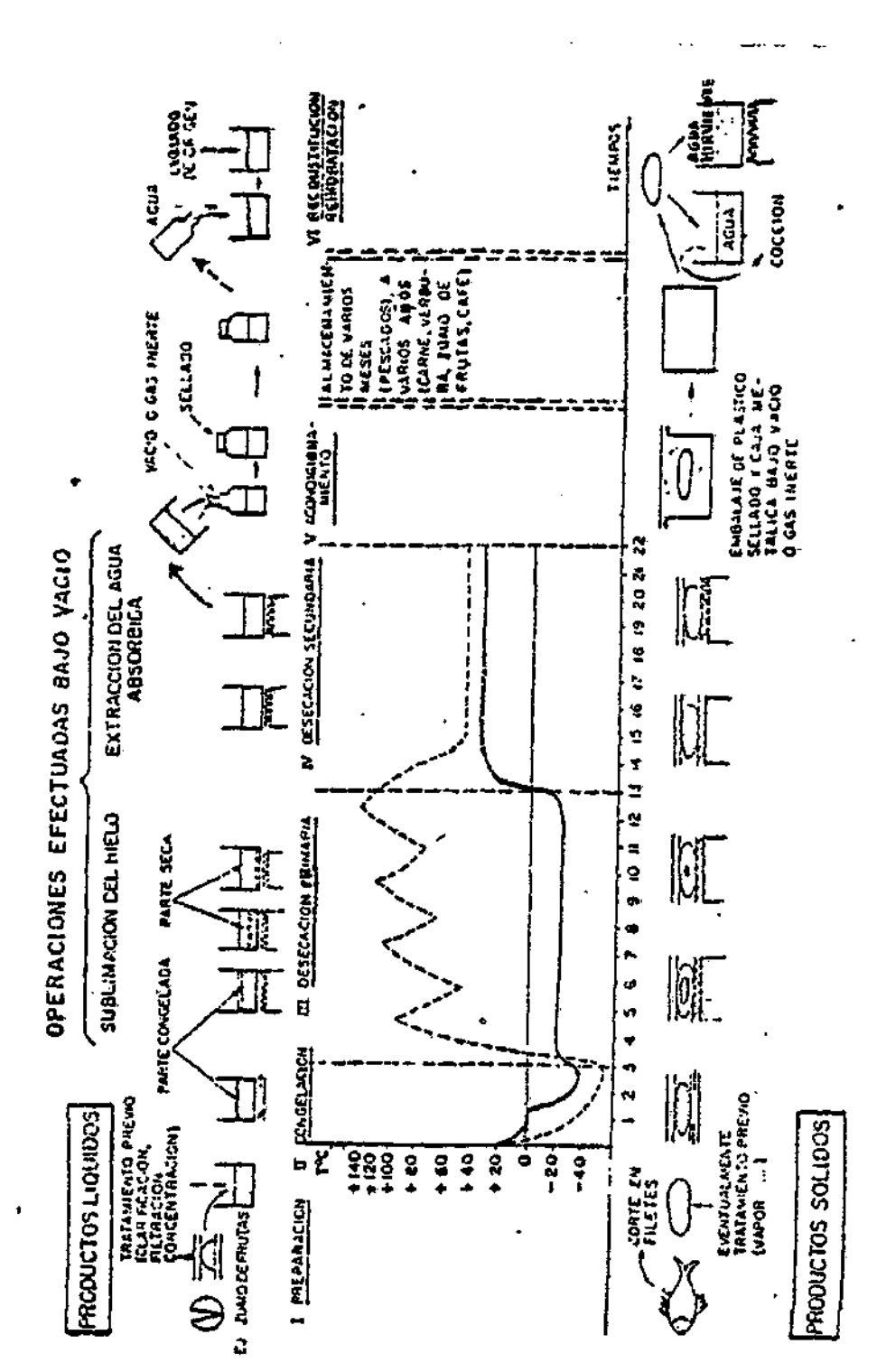

OPERACIONES EFECTUADAS BAJO VACIO
SUBLIMACION DEL HIELO
EXTRACCION DEL AGUA ABSORBIDA
PRODUCTOS LIQUIDOS
PRODUCTOS SOLIDOS
I PREPARACION
II CONGELACION
III DESECACION PRIMARIA
IV DESECACION SECUNDARIA
V ACONDICIONAMIENTO
VI REDISTRIBUCION REHIDRATACION
PARTE CONGELADA
PARTE SECA
VACIO O GAS INERTE
SELLADO
AGUA
LIQUIDO DE CAPA
ALMACENAMIENTO DE VARIOS MESES (PESCADOS), A VARIOS AÑOS (CARNE, VERDURA, ZUMO DE FRUTAS, CAFE)
TIEMPOS
AGUA
COCCION
EMBALAJE DE PLASTICO SELLADO Y CAJA METALICA BAJO VACIO O GAS INERTE
CORTE EN FILETES
EVENTUALMENTE TRATAMIENTO PREVIO (VAPOR ...)
ZUMO DE FRUTAS
TRATAMIENTO PREVIO (CLARIFICACION, FILTRACION, CONCENTRACION)

FIGURA 6.3.3.

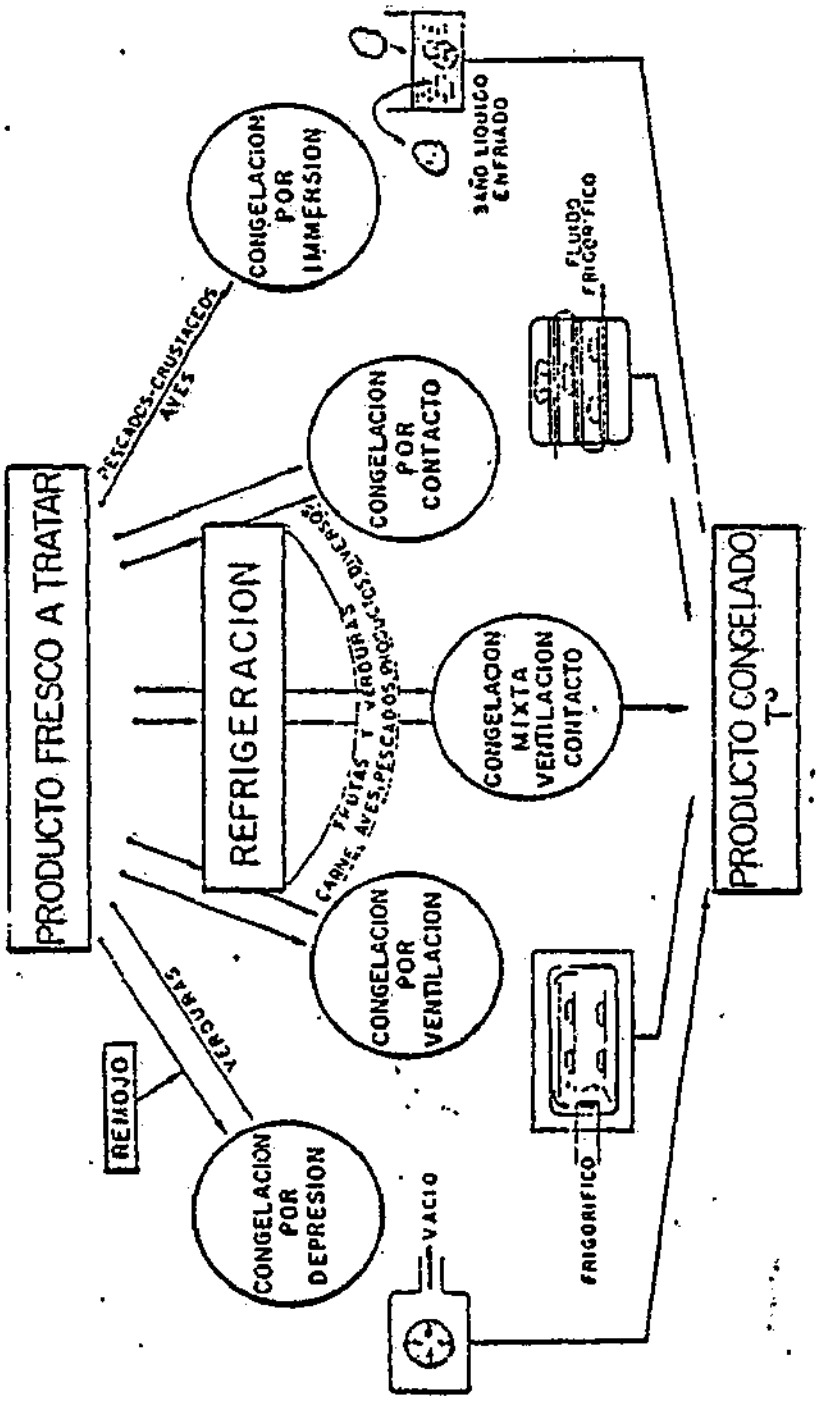

PRODUCTO FRESCO A TRATAR
REFRIGERACION
PESCADOS-CRUSTACEOS AVES
CONGELACION POR IMMERSION
BAÑO LIQUIDO ENFRIADO
CONGELACION POR CONTACTO
FLUIDO FRIGORIFICO
FRUTAS Y VERDURAS
CARNE, AVES, PESCADOS, MOLUSCOS, QUESOS
CONGELACION MIXTA VENTILACION CONTACTO
PRODUCTO CONGELADO T°
CONGELACION POR VENTILACION
VERDURAS
REMOJO
CONGELACION POR DEPRESION
VACIO
FRIGORIFICO

FIGURA 6.3.4.

-Desecación primaria: sublimación

Cuando los artículos están perfectamente congelados, se colocan en el interior de un recinto estanco donde puede hacerse el vacío. Por lo general, se disponen sobre placas regularmente espaciadas en la cámara y se calientan de un modo controlado. Bajo la aportación del calor, el hielo se sublima directamente sin que en momento alguno aparezca el agua en estado líquido. Cada cristal de hielo deja un vacío y el material congelado se deseca progresivamente sin cambiar de forma. La frontera de desecación va penetrando regularmente en el corazón de la masa congelada que se rodea de una corona de producto seco, finamente poroso.

A lo largo de la operación, el producto debe seguir perfectamente congelado, y por eso la calefacción debe regularse con cuidado para mantener, en el material tratado, una baja temperatura estable, resultante de un estado de equilibrio entre el cálor suministrado y el enfriamiento creado por la sublimación.

En la Figura 6.3.5 se esquematiza como tiene lugar la sublimación

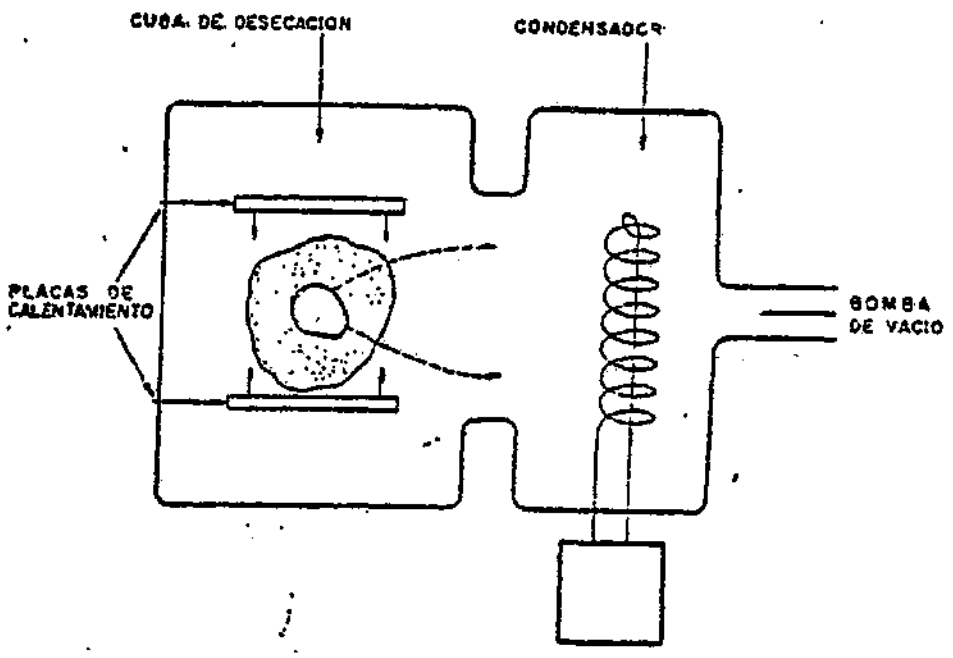


FIGURA 6.3.5.

- Desecación secundaria: desorción interna.

Cuando todo el hielo haya desaparecido, el producto se calienta a 30° C o a 70° C según su naturaleza. Entonces se le mantienen en vacío durante un cierto tiempo para extraer lo mejor posible las trazas de agua restante no congelada. En efecto, la importancia de esta humedad residual, condiciona directamente la duración y la calidad del almacenamiento ulterior.

Aunque, en apariencia, este periodo es completamente sencillo de realizar sin embargo, es necesario hacer algunas observaciones al respecto.

El periodo de desorcion no tiene un final determinado. Se trata de un proceso físico de extraccion continua del vapor de agua.

Contrariamente a la sublimación que se termina cuando todo el hielo ha desaparecido, la desorción podría prolongarse indefinidamente. El contenido de agua disminuye constantemente pero no llega a ser nulo nunca. Como consecuencia hay que detener la operación cuando se alcanza un cierto contenido de humedad residual. En la práctica para cada producto se determina la humedad residual óptima compatible con una buena conservación ulterior. Este valor, es por lo demás, función estricta del porvenir económico del producto tratado. Sería inútil, en efecto, prolongar la operación para alcanzar humedades residuales muy bajas que permitiesen almacenar el producto durante muchos años, si éste ha de distribuirse y consumirse dentro de unos meses solamente.

- Liofilización Industrial

Principales ventajas económicas de la liofilización industrial

Bajo el punto de vista económico nutritivo, los productos liofilizados presentan un cierto número de características interesantes, suma de las ventajas aportadas por la congelación y por las técnicas de desecación:

. Mantenimiento de la calidad. Los productos liofilizados guardan perfectamente todas las propiedades organolépticas: contestura, gusto y aroma.

. Valor nutritivo intacto. En efecto, ningún otro método es capaz de guardar intacto el valor alimenticio y biológico de los productos naturales. Vitaminas, ácidos grasos esenciales, proteinas, todos los constituyentes, incluso los más delicados, se conservan en su estado original.

. Estabilidad. Los artículos alimenticios una vez liofilizados y correctamente acondicionados en un embalaje impermeable al oxígeno y a la humedad pueden conservarse por tiempo prácticamente indefinido, sin precauciones especiales.

. Fácil manejo. Después de eliminar el agua totalmente, la mayoría de los productos alimenticios tienen, en forma liofilizada, un peso muy reducido, de 1/4 a 1/10 del peso inicial. Cuando se trata de polvos, esta reducción de peso va acompañada también de una disminución equivalente del volumen.

. Reconstitución fácil. Gracias a su finísima porosidad, las sustancias liofilizadas se rehidratan muy fácilmente y son apropiadas para el consumo instantáneo. No ocurre así con los productos deshidratados por otros métodos.

3.2. NUEVAS FUENTES

Como ya se ha citado con anterioridad, en el mundo existe deficiencia de proteina. Por ello gran parte de las investigaciones que se realizan en la actualidad, relacionadas con este tema, están dirigidas al aprovechamiento de proteinas de sustancias naturales de las que hasta ahora no se habían utilizado y a la síntesis de proteinas artificiales.

El uso de proteinas de origen vegetal aumenta constantemente. El gluten de trigo, las proteinas de la semilla de algodón, la proteina de cacahuete y la proteina de soja, constituyen las principales. Ahora bien hasta el momento es la proteina de soja la más usada en la industria, debido a disponibilidad y bajo costo.

Hace mucho tiempo que los valores nutritivos y económicos de la proteina de soja están reconocidos. Durante muchos años las proteinas de soja en la forma de harina de soja ha sido la fuente de proteinas más usada en en Estados Unidos para el ganado y la industria de alimentación de aves.

Las proteinas comestibles de soja no son nuevas, ya en 1930 estaban disponibles en el mercado, aunque las primitivas proteinas de soja no eran de gran calidad. La situación económica de la industria de la alimentación permitía la adquisición de los alimentos tradicionales en cantidades y precios razonables, existiendo por tanto poco interés por parte del fabricante de productos alimenticios. en la investigación y búsqueda de nuevas proteinas.

La Segunda Guerra Mundial requirió nuevos alimentos y las proteinas de soja se utilizaron como suplementos nutritivos y correctores de alimentos caros y escasos. La mayor parte de estas aplicaciones desaparecieron cuando la guerra terminó y el suministro de alimentos tradicionales pudo atender la demanda. Pero se siguió investigando sobre este tipo de proteinas para mejorar su calidad y desarrollar otras nuevas.

En los años de la postguerra y a comienzo de los 50 se mejoraron las harinas y gránulos de soja (productos proteínicos básicos al 50%) y se desarrollaron los concentrados en proteína de calidad de la soja (aproximadamente 70% de proteína) y proteínas puras de soja (aproximadamente un 90% en contenido en proteína). Al final de los años 50 se comenzaron a utilizar en la industria panadera pequeñas cantidades de harina de soja y cantidades inferiores de concentración y productos puros en otras parcelas de la industria de la alimentación.

Predicciones económicas de largo alcance mostraron que el precio de la carne iría en alza. En esta época se investigó considerablemente en productos extrusionados y texturizados procedentes de diferentes materiales proteínicos de soja.

Las proteínas texturizadas de la soja o proteínas texturizadas vegetales mejoraron la nutricción entonces conocida así como el aspecto económico de las proteinas de soja al uso. El consumidor se había acostumbrado a comprar carne en busca de un alimento proteíco; la introducción de una proteína texturizada de la soja con aspecto de carne significó que podía ofrecerse como sucedáneo de la carne e incorporarse a productos elaborados de la carne.

Cualquiera de los productos protéicos de la soja se pueden vender a la industria de la alimentación siempre y cuando reuna tres características fundamentales en los mismos.

- justificación económica
- funcionalidad del producto y
- niveles aceptables de nutrición.

Cada una de las proteinas de la soja tiene su propio aspecto económico, funcional y hasta, en cierto modo, diferentes productos protéicos de la soja tienen diferentes valores nutritivos.

Existe también un mercado creciente para las proteinas de la soja en los alimentos no lácteos o de imitación de los mismos. Una de las ventajas de la proteína de soja es su gran versatilidad que le permite incorporarse a multitud de alimentos. Puede utilizarse sola o en combinación con carne o harinas de cereal o bien para corregir productos lácteos.

En España durante los primeros años de la década de los 70, se realizarón importaciones de soja por valor de 1.229.643, 1.131.028 y 1.428.467 Tm. siendo el importe de este último año doce mil setecientos noventa y cinco millones de pesetas (12.795.169.000 ptas).

En los últimos años estas cifras han aumentado en progresión continua y estable, rebasando ya los 2 millones de Tm., debido a que el aumento de consumo de carne no se ha correspondido con un aumento en la producción de proteínas pienso, aumento de producción que, en el volumen antes indicado, parece imposible de conseguir actualmente.

Otra fuente de alimentación que es interesante revisar son las microalgas, fuente de alimentación basada en su riqueza en proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y pigmentos. Fuente que se explota desde hace años en otros paises.

Los trabajos realizados preferentemente han versado sobre Chlorella, sin despreciar los iniciados con los géneros Scene desmus y Spirulina.

Uno de los métodos naturales y más eficientes de convertir plenamente la energía solar en alimentos es mediante la fotosíntesis, que diaria y masivamente realizan los vegetales superiores y las algas.

Si algo ha impedido el desarrollo de la tecnología de las microalgas ha sido la influencia de la económia mundial basada en los combustibles fósiles, olvidando y no apoyando el desarrollo de sistemas fundamentados en la energía solar. Hoy en día ante la escasez de petróleo ha sonado la alarma y se especula con la utilización de la citada energía solar aplicandola a diversos campos. Uno de estos es la fotosíntesis, la agroenergética como fuente de síntesis de alimentos y productos afines: proteínas, vitaminas, pigmentos, etc.

Las microalgas ejercen un papel de primera fila en los trabajos, por su fácil y económico cultivo, su alta utilización de energía solar, por sus elevados rendimientos en principios inmediatos y por el aprovechamiento que de ellos sacan los animales.

El género Chloretta contiene una tasa de proteínas totales que, en condiciones normales, se aproxima al 50% de su peso seco (la carne de ternera contiene el 21%) es rica en aminoácidos esenciales que, a veces, supera los contenidos en el huevo entero, en la carne y en otros alimentos, posee vitaminas en número y cantidad superior a los encontrados en vegetales, frutas y en la leche.

La digestibilidad de las algas por parte de los animales, no parece constituir problema. El secreto reside en las manipulaciones de recogida y secado. Por otra parte, teniendo en cuenta que las microalgas como alimento animal no constituyen el 100 % de la dieta, sino que entran en fórmulas alimentarias en proporciones relativamente pequeñas, como complementos proteico y aporte vitamínico, no se requiere que la producción de las mismas, aunque grande, sea como para sustituir la masa total del pienso.

En la tabla se puede ver los rendimientos y producción de distintas proteinas vegetales.

	Tm/Ha/ año
Chlorella	30
Alfalfa	6
Maiz	6
Cacahuete	0,5
Trigo	0,3
Arroz	0,2

Además en cualquiera de estos cultivos se consume unas 5 veces más de agua que en el caso de las algas, agua que en su mayoría se perdería por filtración y transpiración.

Como parte de piensos compuestos se utilizan las microalgas en bastantes paises desarrollados dedicándolas, con espectaculares rendimientos, a la alimentación de animales domésticos monogástricos y poligástricos.

Existen en América del Norte y en Europa laboratorios costeros y explotaciones muy rentables dedicados con microalgas. Como dato curioso cabe citar el caso del alga unicelular del género Micractinum que sirve de alimento a Rotíferos y Crustáceos entomestráceos de los géneros Daphnia y Artemia que posteriormente son útilizados para la alimentación de peces de acuario y psicifactoria.

En cuanto la aplicación de algas unicelulares a la alimentación humana y a la dietética, tenemos ejemplos actuales en la explotaciones de Mejico, Japón, China, en las costas occidentales de Estados Unidos de América, cuyos productos manipulados se dedican preferentemente a la dietética, introduciendolos en la composición de alimentos tales como biberones pan, galletas, helados, etc...

Las instalaciones de cultivo se encuentran ubicadas en lugares que gozan de Tª ambiente (factor muy importante) muy confortable, tirando a elevada, y las horas de luz solar recibidas son largas; con estas condiciones las algas crecen con gran profusión.

El coste previsto de producción de las algas, es de 8,50 pts/kg, debiendose este coste tan económico frente al de otras harinas de microorganismos al hecho de no necesitar de alimentos hidrocarburos.

Por lo tanto es un producto sumamente competitivo frente a otro similar.

Esta competitividad se concreta en los siguientes aspectos:

Concentración Protéica

Compuesto	% proteina
Harina de pescado	50 al 70%
Harina de soja	40 a 50%
Harina de carne	60% aprox.
Levaduras	40 al 50%
Algas	50 al 70%

Las algas, contienen en proporción equilibrada todos los aminoácidos esenciales, siendo particularmente apreciable el contenido en Lisina y Metionina, de los que son deficitarias otros concentrados como harina de soja y levaduras.

Las algas contienen también todas las familias vitamínicas en altas concentraciones

ANALISIS QUIMICO Y NUTRITIVO DE LAS ALGAS

Componentes	Peso seco %
Nitrogeno	8,2
Fosforo	2,2
Azufre	0,39
Magnesio	0,8
Potasio	1,62
Calcio	1,9
Hierro	0,55
Cinc	0,005
Cobre	0,004
Cobalto	0,0003
Manganeso	0,0003
Proteina Bruta	59,125
Grasa Bruta	6,8
Fibra Bruta	4,7

COMPOSICION DE VITAMINAS

COMPOSICION	mg/kg
Acido ascórbico	1,800-4,00
Tiamina B1	9,5
Tiamina B1	9,5
Riboflavina B2	33,0
Acido Pantoténico	18,5
Cobalamina B_{12}	0,021

COMPOSICION DE AMINOACIDOS

AMINOACIDOS ESENCIALES	gr/100 gr. proteina
Isoleucina	4,5
Leucina	8,4
Lisina	5,9
Fenilalanina	5,0
Tirosina	1,7
Cisteina/Cistina	0,7

Metronina	1.5
Treonina	5.0
Triptófano	1.4
Valina	5.7

La produción de algas se presenta, por tanto, como una de las partidas sustanciales de la producción total de alimentos a plazo medio.

La producción de alimentos es uno de los sectores punta en la investigación tecnológica actual, ya que provoca una estrecha dependencia no sólo económica, de los países defecitarios respecto de los productores.

Antes del prodigioso despegue de las industrias alimentarias del siglo XX, la regla era consumir solamente productos frescos, ahumados o salados.

Luego, con el desarrollo industrial, la concentración demográfica en las zonas urbanas que separan así a los consumidores del lugar de producción, ha llevado a la búsqueda y explotación de nuevas técnicas de conservación; como ya se citó.

Debido a estas causas el concepto de higiene tomó toda su importancia.

La higiene en la industria alimentaria es un amplio conjunto de medidas que intervienen constantemente en el transcurso de una fabricación alimenticia hasta la entrega al consumidor. Esta desifección consta esencialmente de dos aspectos:

- La desinfección macroscópica y bacteriológica de superficies.

- La desinfección del ambiente que es el complemento indispensable en toda limpieza.

A continuación, y con el fín de mostrar de una manera práctica, se definen las causas de polución encontradas en cuatro industrias y se enumeran sus posibles metódos de tratamiento.

4.1. CAMPO DE EXPERIMENTACION

La contaminación del aire ha sido medida en cuatro industrias escogidas en el sector alimentario:

- Industria láctea (productos frescos y postres)
- Industrias de zumos de fruta (jarabes)
- Industria de productos cárnicos
- Empresa de platos precocinados

4.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos demuestran que el nivel de polución es variable de una industria a otra, y que en el seno de un mismo local, evoluciona en el transcurso de la jornada.

4.2.1. Variaciones en el transcurso de la jornada

La ilustración de esta variación se ha realizado a partir de promedios calculados procedentes del local de industria lechera.

En la Figura 6.4.1 destacan tres picos. Estos picos coinciden con momentos muy precisos de la actividad local.

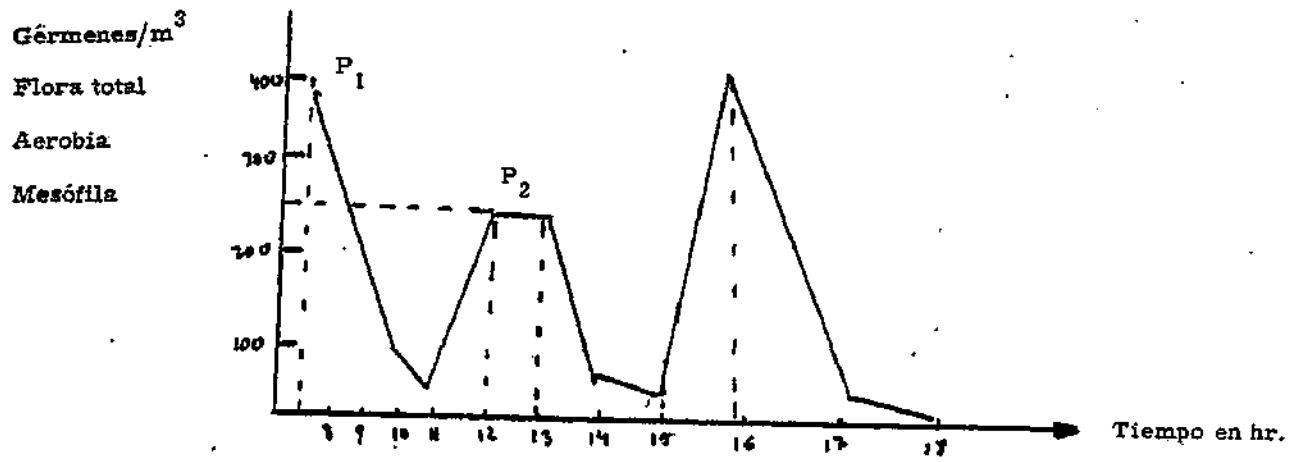


Figura. 6.4.1.

Variaciones diarias de la flora total aerobia mesófita

pico 1 : 7 h - 7 h 30. principio del trabajo

pico 2: 11 h 30- 12 h 30. paro parcial de los diferentes equipos (comidas)

pico 3: 15 h-30-16 h 00 limpieza del local.

PICO 1. - La llegada del personal, la puesta en marcha de las máquinas perturban la atmósfera que estaba en reposo. En efecto durante la noche, la inactividad del taller favorece la sedimentación de gérmenes sobre las superficies horizontales. Los movimientos de aire creados a la reanudación del trabajo vuelven, por tanto, a poner flora en circulación.

PICO 2. - Los cambios de turno ocasionan desplazamientos de aire importantes en zonas que habían vuelto a recobrar la calma durante la mañana . La cantidad de gérmenes en el aire aumenta, el personal es portador de gérmenes.

PICO 3. - La limpieza que es la base de toda política sanitaria es también un factor de recontaminación del aire.

4.2.2. Niveles medios de polución en las cuatro empresas.

El cuadro siguiente expresa el promedio calculado para cada uno de los locales y los criterios de contaminación.

	Germenes/m^3	Concepción del local	Movimientos del personal y mat.	ventilación
Charcutería	700	Antigua	Si: Intenso	Aire Exterior
Ind. Cárnica	412	Moderna	No	Aire Exterior
Ind. Lactea	217	Moderna	Si	Aire Filtrado y desinfectado 0,6 ppm
Ind. Jarabes	39	Moderna	NO	Sala Cerrada

Los principales gérmenes son Bacillus, levaduras, mohos micrococos.

Niveles medios de polución de las empresas.

La polución area varia en función de los locales ensayados. La tasa mínima de contaminación se observa cuando los criterios que se mantienen son los más favorables. Siendo así, la taxa máxima corresponde a una situación completamente negativa.

- En industria de jarabes las fuentes de contaminación son muy restringidas:

- poco personal
- sin aportaciones frecuentes e importantes de materias primas.
- ambiente renovado de forma natural y lenta
- limpieza eficaz

} Atmósfera en reposo global

- En industria láctea. La ventilación por aire filtrado y desinfectado al 0,6 ppm de materia activa en un recinto en sobrepresión no es suficiente para eliminar totalmente los efectos de una actividad importante. La densidad del personal, sus importantes movimientos de almacenamiento de materiales, de acondicionamiento y de sobreacondicionamiento (cartonajes) determinan un nivel de contaminación muy elevado.

- En la industria cárnica (sala de troceado). La ventilación es la responsable de la tasa de contaminación. La renovación de aire es anárquica. Muestras de aire tomadas muestran una contaminación muy elevada, debido a la presencia de camiones, reses, etc..., en la misma sala.

- Charcutería

Las condiciones que se reunen aquí son las menos propicias para una atmósfera sana. Dificultad de limpieza, permanentes desplazamientos del personal, gran concentración en una superficie reducida, lo que favorece el contacto entre materias primas, vajillas sucias, y productos acabados es constante.

El conocimiento de estos diferentes factores permiten tomar ciertas medidas para limitar la contaminación del aire ambiental.

4.3. METODOS PARA COMBATIR LA CONTAMINACION EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

4.3.1. Actuación sobre los factores de contaminación además del aire.

La limpieza que se aplica de forma sistemática se efectúa generalmente con productos eficaces (detergentes y estirilizantes).

- El personal es un agente de contaminación aérea porque es portador de gérmenes y porque sus desplazamientos vuelven a poner en circulación los gérmenes sedimentados en las superficies.

Estos efectos pueden eliminarse mediante la aplicación de una política sanitaria estricta (utilización del delantal, de la cofia y de las botas; lavado de manos y pies a la entrada de la sala). Y de la utilización de técnicas que limiten sus desplazamientos (cinta transportadora).

- La ventilación. En la medida de lo posible, el aire de la sala no debe ser renovado por aire exterior, si

este último está contaminado.

Si las posiblidades de contaminación son poco numerosas, será suficiente limitar al máximo los intercambios con el aire exterior con el fín de evitar las recontaminaciones.

4.3.2. Saneamiento del aire

Los múltiples medios de que dispone una fábrica, pueden repartirse en dos grupos.

- Medios físicos
- Medios químicos

MEDIOS FISICOS

- La Filtración:

Muchos factores tienen influencia en la eficacia de la filtración

- el tamaño de particulas a filtrar
- el diámetro de las fibras filtrantes
- el espesor del filtro
- la velocidad del aire
- las condiciones de utilización
- la naturaleza del material filtrante

Distinguiendose, en función de su papel, dos tipos de filtros:

- El filtro para polvos
- El filtro para bacterias (diámetro inferior a 0,1 μ)

Por su eficacia, su costo relativamente moderado y aunque necesite una ventilación organizada, la filtración es una técnica muy practicada.

- La radiación ultravioleta

Las radiaciones ultravioletas tienen una longitud de onda comprendida entre 210 y 329 nanómetros. Estas longitudes de onda matan a la célula. Pero numerosos factores influyen en su actividad. Todos los organismos no tienen la misma sensibilidad a las radiaciones ultravioleta. La resistencia varía en función de las especies y de la edad fisiológica de los organismos, que se encuentren o no asociados en el aire con polvos protectores.

La instalación es eficaz en la medida de que se tenga conciencia de las limitaciones de su acción.

- Las longitudes de onda comercializados (253 nm) tienen un poder de penetración reducido: selección de la flora microbiana (resistencia de las esporas, de mohos y de las bacterias)

- El tiempo de funcionamiento es muy largo.

- La eficacia disminuye rapidamente con el cuadrado de la distancia que separa la fuente de U.V del foco de infección.

- El producto a tratar debe estar exento de polvo.

- El calor

El calor es un medio de esterilización muy eficaz, pero poco utilizable por causa de las altas temperaturas necesarias y el costo energético que ocasionan.

La T^{a} debe ser superior a 150° ya que el tiempo de contacto del aire es reducido. Fue fijada en 300 ° para garantizar una estirilización total del aire saliente.

La esterilización puede obtenerse a 150° si se inyecta vapor, al ser los microbios más sensibles al calor humedo.

- La precipitacion eléctrica

Las particulas contenidas en el aire se ionizan al atravesar un campo de alto potencial eléctrico, y luego son atraídas por placas cargadas positivamente o negativamente.

Su eficacia sobre las bacterias es función del tamaño de las partículas, de la velocidad del aire y de la longitud de las placas.

MEDIOS QUIMICOS

- La ozonización

Técnica que consiste en producir ozono (O_3) antiséptico que se obtiene por condensación de oxígeno cuando éste, o bien el aire está sometido a un campo eléctrico intenso (8. 000 a 15. 000 V) Las otras técnicas se basan en el principio de una proyección en aire ambiental de un producto bactericida. Estos medios van asociados a menudo a una filtración previa.

- La pulverización

Unos tubos de pulverización tipo tubo Schenk son repartidos en las tuberias que recorren las salas de la fábrica , las pulverizaciones se efectuan por mando automático por una compuerta eléctrica programada . La solución desinfectante se encuentra bajo presión .

Este sistema tiene por ventaja ser muy práctico (mando automático) pero no tiene en cuenta la circulación del aire. Aparte de este defecto, tiene el inconveniente de que solamente puede ser utilizado de noche. Por tanto, no se opondría a las contaminaciones ocasionadas por la actividad local.

Dentro de este tipo puede producirse pulverización por aerosol, que se obtiene por la difusión en el aire de soluciones antisépticas. Conviene realizar suspensiones de tipo neblina.

Es patente la importancia que la desinfección del ambiente presenta en una industria del tipo de la alimentaria. Pues dicha desinfección tiene como meta perfeccionar y cumplir la politica sanitaria, que es nece-

saria que cumplan productos que serán directa o indirectamente consumidos por el hombre.

. ALTSCHUL, A. M. ;New Protein Foods. V/IA : Technology Academic Press. New York 1.974

. GRAV, R.; La investigación en la ciencia de la carne. Ed. Acribia. Zaragoza, 1971

. POTTER. N. N.; La Ciencia de los Alimentos. Edutex, S.A. México, 1.973

. PYCE. M.; Synthetic Food. Editorial John Murray. London 1.972

. SINGLETON, N. R.; Nuclear Radiaction in Food and Agriculture. D. Van. Nostrand Co. Inc. New York 1.958

. RODRIGUEZ LOPEZ. M.; Rev. Química Industria. Vol. 26. nº 3 1980

. TEING, C. Y. - Freeze- Drying of Foods. Ed. Butter Worths. London 1971

. REY L. - Les Phénomenes de Congelation. Prealable. - En : Traité de Lyophilization . Ed. Hermann París 1960.

TEMA 7

SANIDAD AMBIENTAL

ELABORADO POR :

B. SANCHEZ FERNANDEZ MURIAS

INDICE

Pag.

1.- INTRODUCCION 1
2.- EFECTOS DE LA CONTAMINACION SOBRE LA SALUD 4
3.- DIFERENCIAS DE LOS STANDARDS ENTRE LOS DISTINTOS PAISES 11
4.- CONTAMINACION A CORTO Y LARGO PLAZO 15
5.- EFECTOS DE LA CONTAMINACION 19
6.- MORTALIDAD POR CANCER Y CONTAMINACION 27

Las actividades humanas introducen inevitablemente cada vez más substancias y energía en el medio; cuando esas sustancias o esa energía ponen o pueden poner en peligro la salud del hombre, su bienestar o sus recursos de modo directo o indirecto, se dice que es un agente contaminante. Según esta definición, puede haber actividades, de por sí convenientes, que tengan efectos secundarios indeseables; en realidad, así ocurre incluso con las grandes realizaciones de la medicina preventiva, la agricultura y el desarrollo industrial que han sido beneficiosos para la humanidad. Dicho de otro modo, puede considerarse que una sustancia es un agente contaminante simplemente porque se encuentra en cantidad excesiva y en un momento inoportuno, allí donde no debe estar.

No ha de olvidarse tampoco que el aire, el agua y los alimentos contienen siempre cantidades variables de materias extrañas, y, en este sentido, la posibilidad de contaminación siempre ha existido. Cuando decimos que algo está contaminado, en realidad formulamos un juicio de valor acerca de la calidad o la cantidad de las materias extrañas presentes. Ese juicio puede estar basado en hechos objetivos, pero también depende de otros juicios de valor que varían con las circunstancias sociales y económicas. De un modo análogo, las decisiones subsiguientes acerca de lo que debe hacerse en una situación dada de contaminación dependen también de juicios locales de valor.

Por último, hay que señalar que una de las formas de contaminación más extendidas, y la más antigua, es la contaminación del medio, sobre todo de los alimentos y del agua, por organismos patógenos. Pese a los adelantos que han permitido combatir muchas de las enfermedades que antaño aquejaban a la humanidad, la creciente expansión de la población y de la urbanización, con la consiguiente necesidad de eliminar en gran escala los residuos producidos por el hombre, y la evolución del provechamiento de las tierras y de los métodos de riego han agravado el problemas de la contaminación "biológica", particularmente en los países en desarrollo.

La inquietud suscitada hoy en el mundo por la contaminación obedece a que se comprende que los problemas actuales, originados esencialmente por la actividad humana, son de una magnitud mucho mayor, y están mucho más extendidos, que en ningún momento anterior; por ello son también de naturaleza muy diferente. Existe además, el sentimiento muy difundido de que hay que hacer algo contra la contaminación, y al propio tiempo se reconoce que puede hacerse algo porque el hombre tiene conocimientos científicos y posibilidades tecnológicas de los que carecía hasta ahora. No sólo sabe mucho más acerca de la contaminación, sino que tiene también la capacidad necesaria para organizar su sociedad y modelar su porvenir; esto es esencial para llegar a controlar la contaminación.

Además de las condiciones naturales, tres factores en particular determinan la magnitud y la "índole del problema de la contaminación, en el plano local o en el plano mundial: el tamaño de la población humana, la tasa de producción y de consumo, y el nivel y el uso de la tecnología. Pero, en tanto que la presión total resultante de estos factores va en aumento, la capacidad del medio para neutralizar sus efectos secundarios tiene un límite. A ello obedece la necesidad de luchar contra la contaminación, efecto secundario del que aquí nos ocupamos.

La sociedad humana siempre produce alguna contaminación, y los efectos de un agente contaminante determinado suelen ser los mismos donde quiera que se hagan sentir. Es cierto que la situación actual se debe, sobre todo a la aplicación desenfrenada de la tecnología en los países industrializados.

Sin embargo, los países en desarrollo ya se hallan afectados por esta situación y, con el crecimiento de la industrialización y la urbanización, están tropezando con los mismos problemas y tienen que combatir los mismos agentes contaminantes. Al propio tiempo, también es cierto que la fase de desarrollo afecta a la percepción de la contaminación en cuanto problema así como a los recursos y al grado de prioridad que se asignan a la lucha contra ella.

Hay una diferencia importantísima entre los problemas de la contaminación - y, en realidad, el conjunto de los problemas ambientales- de los países en desarrollo. En los primeros, los problemas actuales son - en gran parte consecuencia de una riqueza notable y cada vez mayor. En los segundos, los problemas constituyen factores inherentes a un continuo estado de pobreza; esto puede verse claramente cuando se comprende que los principales problemas de contaminación de los países en desarrollo son peligros para la salud debido a la insuficiencia de los servicios e instalaciones sanitarios. Por lo que respecta a la prevención y al control de la contaminación, los países en desarrollo se encuentran quizás en una situación más favorable que los industrializados, ya que el propio crecimiento puede brindarles en gran medida la solución de sus problemas actuales. Al mismo tiempo, los países en desarrollo, aprovechando la experiencia de los países más industrializados, deberían poder evitar, a medida que sus propias industrias vayan ampliándose, los errores y las malas prácticas que han caracterizado hasta ahora el desarrollo - industrial y llevado a la actual crisis de contaminación.

Según la Conferencia de Estocolmo sobre Medio Ambiente de la Naciones Unidas, se entiende por "medio ambiente", al conjunto de condicionantes de orden físico, químico, biológico y social, que de forma directa o indirecta inciden de manera notoria en la salud y bienestar de las personas tanto consideradas individualmente como en colectividad. Su localización en el espacio corresponde a los lugares en los que el -- hombre desarrolla sus actividades, es decir, donde realiza su vida doméstica (vivienda y habitat), aprende o trabaja (escuela, centro de trabajo), se comunica y desplaza (transportes), emplea su ocio (centros recreativos, culturales y deportivos).

Según esta definición desde el punto de vista sanitario nos interesaría conocer específicamente estos ambientes y la frecuencia con que el hombre está expuesto a ellos y de acuerdo con la definición serían:

1- Medio Ambiente de la vivienda donde transcurre la vida doméstica.

2- Medio Ambiente del lugar de trabajo

3- Medio Ambiente de las vías de tránsito y del transporte.

4- Medio Ambiente de los lugares de recreo.

5- Medio Ambiente de los lugares de restauración de la salud.

Aquí lo que interesa es que el Medio Ambiente debe ser considerado en unas dimensiones interrelacionadas de todos los factores tanto físico-biológicos como psico-sociales y el conjunto de todos ellos tiene - influencia sobre la salud y el bienestar de la humanidad.

La preocupación sobre el medio ambiente en la actualidad reside en que, según algunos estudios, nuestro medio ambiente es limitado y la explotación indiscriminada de los mismos, junto a una industrialización creciente con fuerte demanda de energía va degradando cada vez más los recursos naturales por mala -

gestión de los mismos y haciendo que la contaminación del agua, suelo, aire, aumente a límites peligrosos y por otra parte impidiendo las saturación del equilibrio ecológico necesario.

Algunos informes como el famoso del MIT auguran la catástrofe para la humanidad en el supuesto que esta siga creciendo al ritmo actual y explotando los recursos tal como ahora se hace.

Aunque dicho informe ha sido muy debatido porque no tiene en cuenta las mismas posibilidades de la nueva tecnología que también puede ser correctora, sin embargo tiene el gran mérito de dar la impresión de que los temas de medio ambiente deben tratarse de resolver en un aspecto global aunque algunas soluciones puedan ser parciales por eso otras clasificaciones de medio ambiente pudieran ser medio ambiente urbano y medio ambiente rural por las características diferentes de los mismos.

De todo lo anterior ha de deducirse que la contaminación del aire, agua y suelo será una parte solamente (aunque muy importante) de la degradación del medio ambiente ya que la explotación minera, la tala de árboles, la creación de grandes presas, el cambio de cultivos, la mala planificación de las ciudades influyen en el medio provocando cambios por ejemplo climatológicos, aumentando la desertificación e influyendo en fin en la salud y bienestar de la humanidad.

En la conservación del medio ambiente y en su estudio entra toda la gama de especialidades, desde el ingeniero al economista, biólogo, sociólogo, etc., pero no cabe duda que el sanitario está particularmente interesado por cuanto si ahora interesa lo que le sucede al medio ambiente es por su influencia sobre la salud y bienestar.

La transcendencia del medio ambiente para el hombre es diferente que para los demás seres vivientes. En efecto, el hombre es el único que puede modificar su medio externo a voluntad aunque en ocasiones sea muy difícil hacerlo.

El Saneamiento ambiental modifica el medio ambiente que es adverso haciéndole sanitariamente apropiado para el hombre.

La adaptación de este medio a los distintos grupos humanos según sus necesidades, debe ser considerado como una actividad más con las otras medidas sanitarias que resuelvan los problemas de estos grupos (trabajadores, niños, etc.).

Las necesidades psicofísicas y sociales humanas deben ser satisfechas, bien sean aspiraciones o demandas pero en todo caso las necesidades de saneamiento radican en que el hombre es el mismo tiempo ente biológico y ser social que se encuentra en un área geográfica definida y está en una estructura socioecónomica y cultural que moldea su entorno.

Por todo ello, los programas de medio ambiente que subestiman la finalidad primaria de toda acción en este campo que es el hombre, no podrán ser completos.

El problema importante de la calidad del medio ambiente en el aspecto sanitario, es que esta calidad no solo debe ser para el hombre-promedio, sino también para diferentes grupos humanos cuyas características aconsejan ambientes especiales (niños, ancianos, etc.) que deben alcanzarse con standard de calidad más estrictos.

La exposición del hombre a un número cada vez mayor de influencias del medio exige una mayor atención de las consecuencias que puede tener para la salud de deterioración del mismo y teniendo presente no solamente sus efectos inmediatos sino también los llamados a largo plazo.

Todos los factores ecológicos, industriales, económicos y estéticos cualesquiera que sean sus consecuencias en otros aspectos tienen un efecto directo o indirecto sobre la salud y el bienestar del hombre y por lo tanto la actuación hay que hacerla para mejorar todos ellos.

Hasta hace poco tiempo los problemas sanitarios básicos eran los que se dedicaban a la prevención de enfermedades infecciosas mejorando la higiene del medio. Este criterio sigue siendo la principal medida para evitar epidemias en países en vías de desarrollo.

Actualmente han aparecido nuevos riesgos con los plaguicidas, productos químicos a los alimentos, contaminación del aire, agua y suelo, ruido, radicaciones, accidentes, riesgos profesionales, problemas de salud mental como consecuencia de diferentes condiciones del medio ambiente.

Las medidas especiales que han bastado hasta ahora para hacer frente a los problemas de carácter local no bastan, teniendo en cuenta que la contaminación puede extenderse a grandes distancias y provocar cambios "en cadena".

Se necesita desarrollar un programa de medio ambiente completo e integrado que defina los objetivos y determine las prioridades. La noción ecológica de la salud humana pone de relieve la necesidad de aplicar la epidemiológia a las condiciones del medio.

Para realizar este programa se necesita:

1- Conocimiento del estado de salud

2- Conocimiento de la distribución y de la magnitud de las variables pertinenetes del medio.

3- Existencia real de una correlación entre estado de salud y medio ambiente.

Los riesgos de contaminación pueden considerarse de muchas formas pero en una primera clasificación tenemos que aceptar que los contaminantes pueden afectar directamente por:

1- Exposición a la contaminación con efectos agudos a través del aire, agua o alimentos.

2- Por exposición prolongada a pequeñas concentraciones.

3- Por sinergismo entre varios contaminantes.

4. - Por exposición directa de generaciones anteriores que tiene efectos genéticas y se manifiesta en sus descendientes.

<u>indirectamente</u> pueden afectar al hombre por:

1- Reducción efectiva de alimentos o deterioro de los mismos.

2- Alteración del clima.

3- Alteración del equilibrio biológico de las especies.

4- Daños causados en edificios, aguas internas, playas, etc.

- El conocimiento del estado de salud de la población con respecto al medio puede hacerse comprobando los sistemas específicos que producen contaminantes específicos pero como aún falta mucho que conocer en esta materia es necesario seleccionar parámetros de salud en los que debe estudiarse las variaciones que se produzcan correlacionadas con las variaciones del medio ambiente.

- El conocimiento del medio ambiente se debe hacer por parámetros de medio ambiente estudiando su concentración en el mismo, su variación en el tiempo y espacio y las vías por las que llega al hombre.

A continuación exponemos la lista de ambos parámetros como han sido preconizados por la OMS

<u>Parámetros de Salud</u>

1 Datos generales de demografía, mortalidad y morbilidad.

2 Enfermedades infeccionsas y parasitarias.

3 Farmacovigilancia

4 Neoplasias

Cáncer de pulmón

Cáncer de estómago

Cáncer de hígado

Leucemia

5 Estado nutricional

6 Transtornos neurológicos, mentales y del comportamiento

7 Transtornos circulatorios

8 Enfermedades del aparato respiratorio

Asma

Enfigema

Bronquitis

<u>Parámetros del Medio Ambiente</u>

<u>A Factores físicos</u>

1- Factores meteorológicos y geográficos

2- Ruido

Circulación

Industrial

En los inmuebles y otros

3- Radiaciones ionizantes

Radiación en el ambiente

Sustancias radiactivas incorporadas a cadena alimentaria

Radiodiagnóstico, radioterapia

Exposición profesional

Aplicaciones industriales y caseras

<u>B Factores químicos</u>

1- Alimentos

Aditivos alimentarios

Contaminantes comprendidos los pesticidas.

Neumonia

9 Enfermedades del aparato digestivo

Ulcera de estómago y duodeno

Cirrosis hepática

10 Enfermedades del sistema genito-urinario, nefritis y nefrosis

11 Enfermedades endocrinas y metabolicas

12 Complicaciones en el embarazo

13 Enfermedades del sistema osteo articular y correctivo

14 Accidentes, envenenamientos

Accidentes profesionales

Accidentes circulación

Envenenamientos accidentales

15 Morbilidad de grupos

profesionales particulares

industrias, escuelas.

2- Agua de bebida

Contaminantes

Aditivos

Calidad de abastecimientos

3- Aguas de superficie

(Cursos de agua, lagos, estuarios, etc.)

- Sustancias que deterioran el agua de bebida
- Parásitos
- indicadores de contaminación.

4- Aire

Partículas -

Dioxido de azufre

Hidrocarburos

Oxidantes

- Monóxido de carbono

- Plomo

5- Suelo

6- Vectores

C-Factores psico-sociales

Superpoblación

Vida y estructura urbana

Alojamiento

Extensión y calidad de los servicios de salud y de higiene del medio

El conocimiento y distribución de la magnitud de las variables del medio se debe hacer a través de un sistema de vigilancia de la contaminación y de la degradación del medio. Los criterios que han sido aprobados por el Grupo Intergubernamental sobre Vigilancia del Medio de las Naciones Unidas para elegir los contaminantes que son prioritarios, es decir, porqué se deben elegir dichos contaminantes son:

a) La gravedad de los efectos reales o posibles sobre la salud y el bienestar del hombre y sobre el clima, o sobre los ecosistemas terrestres o acuáticos, teniendo en cuenta la estabilidad de los sistemas en cuestión.

b) La persistencia y resistencia a la degradación en el medio ambiente, así como la acumulación en el hombre y en las cadenas alimentarias.

c) La posibilidad de que la transformación química en los sistemas físicos y biológicos origine sustancias secundarias más tóxicas o más perjudiciales que el compuesto original.

d) Omnipresencia o movilidad.

e) Tendencias de concentración en el medio ambiente o en el hombre, tanto reales como proyectadas.

f) La frecuencia y la magnitud de la exposición.

g) La posibilidad de medición a determinados niveles en distintos medios.

h) El posible valor de la información obtenida para evaluar el estado del medio ambiente.

i) Posibilidad de utilización, debido a su distribución generalizada, para realizar mediciones uniformes dentro de un programa mundial, regional o subregional, en el marco del SIMUVIDA.

Con estos criterios se han elegido para la red mundial de vigilancia los siguientes contaminantes por el siguiente orden de prioridad:

Orden de Prioridad	Contaminantes	Medio
I	SO_2, partículas en suspensión	Aire
	Radionuclídos (^{90}Sr 137Cs)	Alimentos
II	(O_3	Aire
	(DDT y otros compuestos orgánicos clorados	Biota, hombre
III	(Cd y compuestos	Alimentos, hombre, agua
	(Nitratos, nitritos	Agua potable
	(NO, NO_2	Alimentos, Aire
IV	(Hg y compuestos	Alimentos, agua
	(Pb	Aire, alimentos
	(CO_2	Aire
V	(CO	Aire
	(Hidrocarburos del petroleo	Mar
VI	(Fluoruros	Agua dulce
VII	(Asbesto	Aire
	(As	Agua potable
VIII	(Micotoximas	Alimentos
	(Contaminantes microbiales	Alimentos
	(Hidrocarburos reactivos	Aire

Cuando se trata de reflejar el efecto de la contaminación atmosférica con el fin de fijar unas concentraciones que determinen una decisión administrativa, es necesario tener en cuenta entre otras cosas:

1º. - Especificar el test que hemos empleado para conocer el efecto de la contaminación atmosférica. - Así se puede utilizar como referencia las plantas, los animales, los materiales o el mismo hombre. -- Porque ha de considerarse que la misma concentración de igual contaminante producirá efectos diferentes según el "grupo test" elegido, ya que por ejemplo, será menos grave en las personas sanas que en - los bronquíticos crónicos.

2º. - Es necesario conocer para un test elegido los distintos efectos a diferentes concentraciones, verbigracia, reacción biológica de alarma- enfermedad-muerte.

Estos conceptos básicos se manejan en la literatura mundial bajo diversas denominaciones.

Según la OMS los "criterios" son los test que permiten determinar la naturaleza y magnitud de los efectos de la contaminación atmosférica en el hombre y su medio ambiente. Sin embargo, en la terminología utilizada en la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo los -"criterios" serían las relaciones cuantitativas entre la exposición a un agente contaminante y el riesgo o magnitud de un efecto no deseado en circunstancias específicas definidas por variables del medio y variables del receptor. En el mismo sentido se conciben los "criterios" en USA.

Esta definición de "criterio" coincide con la de la OMS sobre "guías" de calidad del aire, que equivalen al conjunto de concentraciones y tiempos de exposición que se asocian a efectos específicos de diferentes niveles de contaminación en el hombre, los animales, las plantas o el medio ambiente general, obtenidos científicamente.

A la luz de nuestros conocimientos actuales, las guías de calidad del aire pueden representarse como cuatro categorías de concentraciones, tiempos de exposición y efectos correspondientes.

Estas cuatro categorías pueden variar dependiendo del "criterio" utilizado, de la coexistencia con otros contaminantes, de la concurrencia de determinados factores físicos y de las diferentes respuestas de los distintos grupos humanos.

El Comité de expertos de la OMS considera, engeneral, los siguientes cuatro niveles:

Nivel I. Las concentraciones y los tiempos de exposición son inferiores o iguales a los valores para - los cuales, en el estado actual de nuestros conocimientos, no se observa ningún efecto directo ni indirecto (incluyendo alteraciones de los reflejos o reacciones de protección).

Nivel II. Las concentraciones y la duración de la exposición son iguales o superiores a los valores para los cuales, probablemente, se observará irritación de los órganos de los sentidos, daños sobre vegetación, reducción de la visibilidad u otros efectos desfavorables sobre el medio.

Nivel III. Las concentraciones y tiempo de exposición son iguales o superiores a los valores para los - cuales, probablemente, habrá enfermedades agudas o muertes en los grupos vulnerables de la población.

Los "standard" o normas de calidad del aire, según la OMS son los valores de las guías de calidad que adoptan los Gobiernos sobre concentraciones y tiempos de exposición.

Los standards reflejan los objetivos y se expresan como un valor medio simple para cada "grupo test" - (hombre, visibilidad) en un período medio de tiempo seleccionado.

Constituyen por lo tanto una elección dentro de los diferentes niveles, ya que el legislador puede tener en cuenta no sólo la relación dosis-efectos, sino también otros factores entre los que destacan el binomio -- coste del daño de la contaminación-beneficio de su prevención.

Debe quedar bien claro que los standards, en algunos casos pueden no proteger de forma absoluta y constituyen un compromiso entre la defensa de la salud y del medio ambiente por un lado , y las disponibilidades efectivas para evitarla, por otro.

Toda norma standard es, en el fondo, la expresión de una elección en la opcionalidad multidisciplinaria - que se ofrece al legislador. Se trata de un problema de prioridades con argumentos que pueden ser temporales o contigentes.

Este concepto de la OMS equivale a los "niveles o límites operativos" derivados de la terminología de las Naciones Unidas, que los concibe como los niveles máximos aceptables de contaminantes en ambientes determinados, distintos de los del receptor, fijados para asegurar que en circunstancias específicas no se exceda una norma primaria de protección. También se llaman normas ambientales de calidad del aire, - límites máximos permisibles y concentraciones máximas permisibles.

En lo que resta de esta exposición emplearemos la terminología adoptada por la OMS.

Los standards de calidad del aire como base del control de la contaminación.

La Organización Mundial de la Salud recomienda que cuando no exista ninguna legislación específica en un país, éste debe establecerla lo antes posible, aunque no sea perfecta, porque está demostrado que, sin - ella, la contaminación crece muy rápidamente y después se necesitará un mayor esfuerzo para reducirla.

Aparte de otras consideraciones sobre la legislación, tenemos disponsibilidades de base para reducir la contaminación atmosférica. La primera es la de aplicar los " mejores medios practicables" que existan en aquel momento sobre diferentes focos de contaminación, independientemente que tengamos o no standards o guías de calidad del aire. Con estos principios se ha logrado reducir la contaminación en algún país.

Se limita así, ciertamente, la emisión de contaminantes en las fuentes, pero no se tiene en cuenta la densidad de la población ni la proporción de fuentes móviles o estacionarias ni la zonificación, ni la meteorología.

La segunda forma de reducción de contaminación del aire, está basada en el deseo o necesidad de tener - un aire con una calidad que nosotros fijamos previamente, es decir sobre unos "standards de calidad".

Para que estos no se sobrepasen, se necesita controlar las fuentes de contaminación, planificar la ubicación de las industrias, calcular el crecimiento de la población en todos los órdenes, tener en cuenta los factores meteorológicos, etc. Es una verdadera ordenación del territorio en función del aire.

Esta forma parece la más lógica, de programación de lucha contra la contaminación atmosférica.

Como aún tenemos lagunas que cubrir y éstas no pueden rellenarse en un momento, lo aconsejable parece presentar unos standards de calidad tolerables y marcar otros en concepto de standards de calidad deseables, mucho más estrictos, como meta a la que debemos tender.

Lógicamente, se deduce de todo lo considerado con anterioridad, que el mejor sistema será aquel que conjugue el empleo de los mejores medios posibles con los standards de calidad deseables.

A pesar de estos factores mediatizantes, conviene que los gobiernos adopten unos standards de calidad del aire modificables que, a medida que los estudios científicos lo permitan, se vayan acomodando a las circunstancias del momento.

Es un deber sanitario tratar de poner en claro, porque es motivo frecuente de confusionismo, la razón de la diferencia, a veces notable, que existe entre los standards de calidad del aire en los diferentes países.

El primer motivo se debe a la falta de conocimiento de los efectos concretos derivados de todas las concentraciones posibles de un contaminante, sus tiempos de exposición y su evolución en el tiempo.

En segundo término, a que tanto los "criterios" como las "guías" elegidos son diferentes de un país a otro para un mismo contaminante; por ejemplo, los standards dados por la URSS son más estrictos que los de los Estados Unidos o Alemania. Se debe a que los rusos consideran que la sola reacción de alarma del organismo, detectada con técnicas fisiológicas muy finas, es decir, la simple aparición de una reacción defensiva frente a un contaminante, determina el nivel máximo permisible. Por tanto, esto significa que la presencia del contaminante no debe causar prácticamente, la más mínima reacción. Para los Estados Unidos, esto constituye un ideal realmente inalcanzable y su "criterio" se basa en los efectos sobre la mortalidad o la morbilidad. Como se puede suponer, las concentraciones que vienen dadas por los standards que protegen al hombre en la mortalidad o morbilidad son muchos menos exigentes que los que le protegen frente a la más mínima alarma.

En tercer lugar, los valores numéricos que establecen las legislaciones de los diversos países no son comparables entre sí, ya que debe conocerse también la forma de aplicación, la tolerancia en la adopción de las correcciones, etc., es decir, la intención del legislador. Por ejemplo, en Francia las centrales térmicas deben tomar medidas de reducción cuando el contenido de SO_2 en el aire llegue a 1 mg/m^3 en 24 horas, pero sin embargo, esta cifra no es un límite de tolerancia, sino un límite de alerta que lleva consigo una acción inmediata como es el cambio del combustible por uno desulfurado.

En último lugar, tampoco existe un acuerdo unánime hasta ahora que en todos los países se fijen iguales intervalos de tiempo. A título de muestra, en Alemania, la concentración permitida para el SO_2 en la atmósfera es de 400 $\mu g/m^3$ con muestreo de 30 minutos, mientras que en Italia, los 400 $\mu g/m^3$ se consideran admisibles en período de 24 horas.

Nuestra elección debe ir orientada sobre unos principios que en todo momento respondan al fín último que nos proponemos, cuál es la protección del hombre en particular y del medio ambiente en general. Sobre este ideal debemos:

1º.- Definir el criterio cualitativo o lo que es lo mismo, qué es lo que queremos evitar.

Por ejemplo, las muertes se producen con concentraciones más altas que aquellas que ocasionan trastornos funcionales respiratorios y, por lo tanto, si lo que queremos es prevenir la mortalidad, pondremos unos standards menos estrictos que si quisiéramos prevenir los síntomas respiratorios, pues para ello tendríamos que establecer límites más rigurosos, pues lo que primero produciría la contaminación serían los efectos funcionales.

2º.- Fijar el carácter cuantitativo de tolerancia para los efectos de la contaminación. Podemos reducir, si no es posible evitar, la gravedad de una enfermedad.

3º.- Determinar el riesgo que vamos a admitir a un determinado grupo de la población. Por ejemplo,

incomodidad ostensible, aunque supongamos que no tiene efectos directos sobre la salud . La población así se creería no defendida. En todo caso, hay que evitar también las molestias.

Las reservas fisiológicas son variables de una persona a otra. Todas, no obstante, la poseen. Los standards de calidad del aire cumplen la gran misión de que esta reserva sea mantenida y ahorrada para poderla emplear en otros esfuerzos necesarios.

Limitaciones de los standards en la defensa de la salud.

Los standards que consideramos deben respetarse, constituyen un compromiso entre las posibilidades de reducir la contaminación atmosférica en nuestro país y la defensa del medio ambiente en general y de la salud humana en particular. Sin embargo, no son la meta final hacia la que debemos tender, sino un objeto previo a la fijación de standards más estrictos. Su aplicación viene dada como una orientación necesaria en lugares con alto grado de contaminación y en ningún caso supone una libertad de ocupación del medio ambiente.

Surge la controversia si los standards de calidad del aire deben hacerse sobre una base nacional o sobre una base local.

En ocasiones, se quiere proteger determinada región o localidad que se utiliza para fines que parecen exigir en sí mismos aire puro (actividades deportivas, parques naturales, etc .), marcando standards de calidad especiales. Esta alternativa no parece la más apropiada.

Para impedir la contaminación de estos territorios, lo que hay que tratar de regular es la ubicación de las actividades en los mismos sobre la base de la reglamentación ya existente.

Los standards mínimos de calidad del aire deben ser para todo el territorio. Los niveles de contaminación que son peligrosos para la salud de una comunidad o la limpieza de una ciudad, no son menos peligrosos en otro lugar.

No parece acertado que el derecho del ciudadano a tener un aire que no dañe la salud dependa del lugar donde vive, y por tanto el nivel de calidad del aire no debe superarse por encima de unos standards comunes.

Como se ha dicho anteriormente, la decisión en la elección de los standards ha de basarse en las guías de calidad del aire obtenidas científicamente, a fín de poseer razones objetivas. Ahora bien, puesto que las guías son distintas según el criterio utilizado nuestra postura ha de contemplar las diversas soluciones adoptadas en atención a tales guías, las cuales, hasta el presente, se obtuvieron por alguno de los siguientes procedimientos:

a). Experimentación animal en Laboratorio. - Es el procedimiento más riguroso y comprobable, ya que permite regular a voluntad los distintos parámetros, como son las concentraciones, las exposiciones y los criterios. Tiene el inconveniente de que la fisiología de los animales empleados no es igual que la de las personas, por lo cual es imposible transferir rigurosamente los resultados al hombre.

b). Experimentación humana, en laboratorios con sujetos sanos voluntarios. - En este caso los valores

de concentraciones y tiempos tienen valor real, con el único inconveniente de que los resultados obtenidos no pueden darnos más que una información de las respuestas a la exposición a niveles bajos, puesto que, por razones deontológicas, no es posible someter a las personas al riesgo de las altas concentraciones. Estas guías pueden hacerse extensivas a la población que representa la edad y sexo de los sujetos experimentados.

c). Experimentación humana en Laboratorios con sujetos voluntarios enfermos. - Presenta las mismas ventajas e inconvenientes del método anterior. En este grupo la concentraciones y exposiciones han de ser menores a las correspondientes para personas sanas, y las guías así obtenidas pueden hacerse extensivas a la población enferma que representa las condiciones de los sujetos experimentados.

d). Estudios epidemiológicos sobre mortalidad y morbilidad general y específica en relación con la contaminación real en las ciudades. - Se realizan mediantes encuentas específicamente dirigidas o por medio de estudios prospectivos o restrospectivos en grupos de poblaciones.

Una de las peores catástrofes debidas a la contaminación del aire fue la de Londres de 1.952.

La niebla contaminada se extendió por toda la ciudad durante 4 días, produciendo en el Gran Londres - (8 millones y medio de habitantes), unos 4.000 muertos en exceso. Las cifras de 1.952 referidas al núcleo (3,3 millones de habitantes) según el Real Colegio de Londres, son las siguientes:

Causa de Muerte	normas estacionales muertos por semana	muertos en la semana del episodio	Muertos en exceso	
			número	porcentaje del total
Bronquitis	75	704	629	39
Otras afecciones pulmonares	98	366	268	17
Enfermedades coronarias y miocardio	206	523	319	20
Otras enfermedades	508	889	381	24
Total	887	2.384	1.597	100

La bronquitis ha sido la responsable del mayor tanto por ciento de muertes, seguida de las enfermedades del corazón de manera directa o indirecta.

Es muy importante destacar que también otras enfermedades fueron causa de muerte el 24% de los casos, lo cual puede llevarnos a la conclusión no confirmada ni denegada que la contaminación también - es causa de mortalidad en personas que no están afectadas de síntomas respiratorios.

En otra ocasión se observó una estrecha correlación entre aumento de mortalidad y nivel de contaminación atmosférica.

Precedentemente en el Valle de Mosela, en Bélgica, durante la primera semana de 1.930, durante 3 días hubo una inversión de temperatura que dió lugar a un aumento de la contaminación contabilizándose 60 muertos, es decir, diez veces más que la cifra habitual para este período del año.

En Denora en 1.948, en un episodio semejante, más de la mitad de la población fue afectada, notándose un aumento de enfermedad respiratorio que afectó a más de la mitad de la población. Estudios posteriores efectuados en Europa, Estados Unidos y Japón, han confirmado que un aumento brutal en el contenido de humo y dióxido de azufre en el aire provoca siempre un exceso de mortalidad y morbilidad que depende de los niveles de contaminación y de la duración del fenómeno.

Las personas más afectadas son los ancianos, los enfermos con afecciones pulmonares crónicas de carácter obstructivo y los que tienen enfermedades cardíacas.

En un análisis de encuestas epidemiológicas publicado por la Environmental Protection Agency, resal_

ta que un brusco aumento de 175 $\mu g/m^3$ de SO_2 y 750 $\mu g/m^3$ de humo hace aumentar debilmente, la mortalidad diaria en el Reino Unido.

Cuando las concentraciones de SO_2 superan 100 $\mu g/m^3$ y al mismo tiempo las concentraciones de humo pasan de 1.200 μg las tasas de mortalidad se elevan. Cuando el SO_2 supera los 1.500 μg y el humo los 2.000 μg el exceso de mortalidad será del 20% o más.

Algunos investigadores han querido ver la correlación entre el aumento de mortalidad y la presencia en la región de Los Angeles de concentraciones elevadas de oxidantes fotoquímicos pero hasta ahora no existe ninguna demostración.

Algunos estudios de Hexter y Goldsmith sugirieron que puede haber una posible relación entre las tasas medias de óxido de carbono y las variaciones diarias de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares.

Morbilidad. -

Se ha realizado una encuesta en Londres sobre bronquitis a los que se les invitó a anotar cada día las modificaciones de su estado de salud, con una terminología standard. En este estudio se pudo determinar que la concentración de humo superior a 300 $\mu g/m^3$ y de SO_2 superior a 600 $\mu g/m^3$ estaba en relación con el aumento de síntomas respiratorios.

Otros análisis sobre la frecuencia de visitas en los dispensarios y Servicios de urgencia en los episodios de gran contaminación demuestran el aumento de visitas a los enfermos en los sistemas, tanto de seguros como de medicina particular.

Estos episodios que dan lugar a gran número de muertos son en realidad excepcionales, pero han tenido el mérito de llamar la atención sobre el peligro de las grandes concentraciones.

Contaminación a largo plazo y concentraciones no elevadas. -

Es difícil sacar conclusiones generales de los estudios epidemiológicos porque no es posible tener poblaciones comparables desde todos los puntos de vista que es necesario considerar, como consumo de tabaco, sexo, profesión, etc. No obstante, las encuestas indican que una contaminación de intensidad moderada y larga duración ejerce efectos nocivos para la salud.

Existe un estudio de Reid y Fairbairn, en el que teniendo en cuenta la densidad de población y número de personas que habitan en cada domicilio, demuestra que entre los carteros que trabajan en áreas contaminadas son más altas las cifras de mortalidad, invalidez prematura y absentismo por bronquitis.

En una encuesta del Colegio de Médicos de Londres, ha demostrado que teniendo en cuenta la edad, el sexo, la clase social y el tabaco, los casos de bronquitis son dos veces más numerosos en las grandes ciudades que en zonas rurales. Conviene advertir, que la bronquitis crónica es más frecuente entre los fumadores de cigarrillos, sea el que sea el nivel de contaminación. En este caso la contaminación atmosférica será un factor agravante.

Como es difícil tener población comparables con características significativas, se están realizando en

cuestas en los escolares para eliminar prácticamente los riesgos profesionales, el tabaco y los antecedentes patológicos y se evidencia un aumento de afeciones respiratorias en los escolares de las regiones altamente contaminadas en relación a las menos contaminadas.

La alteración de la función respiratoria está frecuentemente ligada a las afeciones crónicas de vías respiratorias que, se agravan por la contaminación atmosférica.

Una de las medidas de la función respiratoria consiste en determinar la resistencia del pulmón a la inspiración y permite hacerse una idea del esfuerzo necesario para respirar. Algunos autores como Spicer, han observado algunas modificaciones de resistencia al flujo del aire coincidiendo con picos de concentración de dióxido de azufre, y que existía una correlación cuantitativa entre los dos fenómenos.

En otra encuesta, se hospitalizaron enfermos de bronquitis crónica y de enfisema durante tres semanas, y se hicieron medidas sobre la resistencia al aire, con intervalos frecuentes. Durante la primera y tercera semana el aire que había en el Hospital no sufría ninguna depuración. En la segunda semana se hizo una depuración del aire que respiraban estos enfermos. Los investigadores pudieron ver que la resistencia al paso del aire en los pulmones de estos enfermos estaba menos elevada en la segunda semana que es cuando el aire fue filtrado.

En voluntarios humanos, el dióxido de azufre tiene el mismo efecto pero a concentraciones elevadas (2 a 5 ppm.) que siempre son mucho mayores de las que normalmente se encuentran en una ciudad.

Otra manera de ver los efectos de las contaminación sería la valoración del rendimiento físico individual. Se ha visto así una relación entre la contaminación fotoquímica y el rendimiento en las pruebas atléticas de los estudiantes.

En algunos casos existen fenómenos de irritación de los ojos de las mucosas, con pequeñas cantidades de contaminantes.

Otros trabajos epidemiológicos.

Aunque la mayor parte de las investigaciones han sido realizadas sobre enfermedades del aparato respiratorio o circulatorio, conviene puntualizar que otros autores han señalado una posible acción negativa sobre el desarrollo del niño en general, y como consecuencia de una impermeabilidad de la atmósfera a los rayos ultravioletas, una mayor tendencia al raquitismo en las poblaciones contaminadas. También la acción irritante sobre la conjuntiva es seis veces superior en la ciudad. Si bien son necesarios nuevos estudios para su confirmación, estos hechos son interesantes y merecen ser destacados.

Diremos, por último, que la contaminación atmosférica da lugar, cuando menos, a olores a veces intensos, pero dificilmente objetivables por un análisis y que perturban la condición de bienestar que supone la definición de Salud de la O.M.S.

El profesor Symon, del Instituto de Higiene de Praga, ha estudiado varios grupos de niños en regiones contaminadas y no contaminadas. En aquellas donde el aire está fuertemente contaminado por humos y particulas, el crecimiento de los niños está retrasado. En esas mismas regiones donde el contenido de SO_2 es mayor, los niños presentan un porcentaje superior de microcitos y un valor globular inferior,

siendo la tasa de hemoglobina prácticamente igual a los niños de otras regiones. Se puede sacar en conclusión que el organismo del niño reacciona cara a un contenido elevado de SO_2 de la misma forma que ante una disminución de la presión de oxigeno, tal como se observa en la altura de las montañas. Hay, pues, poliglobulia y microcitosis. Hasta ahora no podemos decir si este mecanismo protectos constituye una reacción sin peligro garantizando las necesidades de un organismo en crecimiento o constituye la portada de una deteriorización ulterior. Una estancia de un mes en el aire puro hace que las cifras se normalicen y persistan asi durante tres meses, a pesar de volver a una atmósfera contaminada.

DE ORIGEN FOTOQUIMICO

Se ha comprobado que los gases de escape de los vehículos de motor revisten una importancia decisiva en la producción de la contaminación compleja que puede aparecer, por un proceso fotoquímico, en el aire inmóvil y fuertemente soleado. En efecto, los gases de escape contienen hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, sustancias esenciales para que se produzca esa contaminación. La composición, el mecanismo de formación y los posibles efectos de esa contaminación fotoquímica han sido objeto de detenidos estudios. La composición no es constante, pero el aire contiene cantidades variables de óxido nítrico, dióxido de nitrógeno y ozono, así como muchos compuestos orgánicos de gran complejidad. Aunque el dióxido de nitrógeno proviene de los motores de gasolina, sólo se han encontrado concentraciones elevadas de ese gas en los lugares donde se producen reacciones fotoquímicas, y muchos investigadores estiman que la importancia toxicológica que puedan tener como contaminantes del aire reside en su asociación con el ozono y con otros oxidantes. Se ha observado recientemente que los ratones expuestos a dióxido de nitrógeno y a gases de escape irradiados se vuelven susceptibles a infecciones provocadas experimentalmente, aunque también se ha comprobado que una exposición prolongada puede ejercer un efecto protector contra infecciones análogas. De igual modo, ciertos experimentos realizados con animales parecen indicar que una exposición repartida a concentraciones bajas de ozono puede proteger a los animales contra exposiciones ulteriores a concentraciones que normalmente serían nocivas. Se han estudiado, además, en la rata el efecto inhibidor del dióxido de nitrógeno y de otros oxidantes sobre los macrófagos alveolares y las alteraciones que esas sustancias pueden provocar en los mastocitos, pero no se sabe todavía qué punto los resultados son aplicables al hombre.

La compleja forma de contaminación oxidante que se produce por reacción fotoquímica, no sólo causa irritación de los ojos, sino que, según observaciones efectuadas en Los Angeles, existe una relación entre las concentraciones de oxidantes y la frecuencia de los ataques de asma. Aparte de esos efectos, no hay pruebas concluyentes de que represente para el hombre otra cosa que una pura molestia. Las concentraciones de oxidantes, cuya nocividad para el hombre, en caso de exposición prolongada, se ha comprobado experimentalmente, se han rebasado con frecuencia durante muchas horas en Los Angeles, sin que se haya podido demostrar que tengan otros efectos clínicos que los arriba señalados.

Es preciso, sin embargo, seguir realizando estudios epidemiológicos y experimentales detallados sobre los efectos de las distintas concentraciones de oxidantes en el hombre.

OZONO

Las informaciones obtenidas provienen bien de la patología laboral, bien por experimentación humana.

Con dosis de 0,25 p.p.m. no se ha observado ningún daño particular. Es a partir de 0,30 p.p.m. cuando empiezan a observarse manifestaciones caracterizadas por opresión y molestias, respiratorias y una irritación nasal. A partir de 0,8 p.p.m. sobreviene la tos, con expectoración. Las pruebas de laboratorio muestran que si la exposición dura varias horas, la función respiratoria se perturba gravemente.

Con dosis más elevada, del orden de 1,5 p.p.m. a 2 p.p.m. y una exposición de dos horas, la función respiratoria se perturba inmediatamente acompañada de una extrema fatiga y falta de coordinación de los movimientos.

Con dosis muy elevadas, incluso durante un período muy corto, además de los síntomas respiratorios,

sobrevienen violentos dolores de cabeza y somnolencia.

NITRATO DE PARECITILO

Faltan informes precisos sobre la toxicidad del nitrato de parecetilo. Según los trabajos experimentales americanos sobre jóvenes estudiantes voluntarios, parece que la dosis de 0,3 p.p.m. a 0,5 p.p.m. conducen a modificaciones respiratorias y a una disminución de la actividad física medida por las pruebas ergométricas.

Finalmente, la irritación de los ojos, tan características del smog oxidante, es debido no al ozono, sino esencialmente a la acroleína, al nitrato de parecitilo y al nitrato de peroxibenzoilo.

LOS OXIDOS DE NITROGENO

Los estudios sistemáticos sobre los efectos fisiopatológicos de los óxidos de nitrógeno son relativamente recientes. Muestran que, al menos, la toxicidad es elevada para dos de ellos: el monóxido N0 y el dióxido $N0_2$, y los estudios de experimentación animal han demostrato qué el $N0_2$ es cuatro veces más tóxico que el N0 y diez veces más tóxico que el C0.

Hasta el momento no existe ningún caso en la literatura científica de intoxicación por N0. El único experimento animal muestra, en dosis muy elevadas, lesiones mortales del sistema nervioso central.

Por el contrario, la patología debida al N_2 es la más conocida. Sin embargo, hay que saber que los fenómenos observados lo han sido con dosis elevada y, con mayor frecuencia, en condiciones accidentales de patología del trabajo.

Con dosis del orden de 9,4 mg/m^3, es decir, de 5 p.p.m. de N.2 durante diez minutos, los individuos expuestos han sido afectados con trastornos respiratorios intensos, pero transitorios.

Con una exposición de 169 mg/m^3 (p.p.m.) los individuos padecen edema pulmonar y se observa una disminución definitiva de la función pulmonar al cabo de dieciocho horas.

Finalmente, con dosis muy elevadas del orden de varios centenares de mg/m^3, la muerte se produce en un período de algunos días.

En el hombre, por tanto, se observan los trastornos esencialmente en el campo respiratorio. Hay que subrayar que también en el campo respiratorio se observan las lesiones provocadas por el anhídrido sulfuroso. La posibilidad de acumulación de estas dos agresiones es grande en las condiciones de vida urbana.

LOS DERIVADOS DEL PLOMO

El plomo es añadido a la gasolina como antidetonante bajo la forma de derivado orgánico de plomo tetraetilo, $Pb\ (C_2\ H_5)_4$, y de plomo tetrametilo $Pb\ (CH_3)_4$.

Los documentos científicos respecto a las intoxicaciones por estos contaminantes son muy raros, y provienen esencialmente de accidentes de trabajo observados en obreros que han respirado los vapores desprendidos por barros contenidos en las cubas que contienen plomo tetraetilo.

Los síntomas observados son muy diferentes de los observados en los casos de saturismo. Se trata esencialmente de síntomas nerviosos, de tipo delirante, acompañados o no de parálisis, y cuya lentitud de restablecimiento está en función de la duración de la exposición.

Parece que sólo el 10 por 100 del plomo de la gasolina se encuentra en el aire bajo forma orgánica.

El tamaño de las partículas liberadas en la atmósfera reviste una importancia capital, pues sólo aquellas cuyo diámetro es inferior a 5 μ penetran directamente en los alvéolos pulmonares. Ahora bien, importantes trabajos americanos han mostrado que cuanto más finas son las partículas de polvo, más recargadas están de plomo.

La importancia de la apertación de plomo en el organismo por productos alimenticios, contaminados directa o indirectamente por el plomo, plantea, además, el problema bajo una forma nueva. En las diversas encuestas efectuadas sobre la plobemia observada entre los ciudadanos de las diferentes ciudades, ha sido muy difícil considerar la parte exacta de lo que podía corresponder a la inhalación y lo que era debido a la inhalación directa de los contaminantes. Finalmente, los niños parecen más sensibles a la intoxicación por plomo que los adultos.

Las observaciones correspondientes a los porcentajes de plomo son las siguientes:

Para concentraciones de plomo bajo forma de sesquioxido	Efectos
0, 27 $\mu g/m^3$ en 24 horas.....	Ningún efecto en el niño
De 1 a 2, 5 $\mu g/m^3$ en 24 horas.....	Aumento de la coproporfirina y aparición de plomo en la orina del niño
3, 9 $\mu g/m^3$ en 6 horas durante 6 meses.....	Aparición de plomo en los huesos de animales.

ARSENICO

La fuente más importante de entrada en el organismo es la alimentación.

El agua de bebida contribuye relativamente poco.

La toxicidad del arsénico depende de su forma química, de su concentración y de la forma con que se liga a grupos aminos, carbóxilos y sulfídrilos principalmente en el organismo.

Según nuestros conocimientos la piel es el órgano que nos dará la sintomatología ostensible en la intoxicación crónica. Cuando existe una sobreexposición existe hiperqueratosis, hiperpigmentación y cáncer de piel.

La razón del establecimiento de concentraciones máximas permitidas es para prevenir estas enfermedades.

Cuando las cantidades son grandes se producen efectos tóxicos agudos.

En nuestra experiencia contamos el caso de una persona intoxicada mortalmente por contaminación de una fuente alejada de una fábrica de abonos en Valladolid. La causa fué el agrietamiento de un depósito en la fábrica que poco a poco contaminó la capa freática que suministraba agua a la fuente. Se encontró una concentración de 16 mg. de arsénico/litro.

Desde el punto de vista toxicológico el arsénico presenta aún muchas interrogantes que hay que investigar como son, la diferenciación entre los diversos compuestos arsenicales según su valencia y su conversión en los organismos vivos, los posibles efectos residuales en el sistema nervioso central y los mecanismos de aumento de la tolerancia durante el curso de una exposición.

La concentración máxima admisible en el agua 0,05 mg./l. se basa en estudios sobre cáncer de piel.

PLOMO

Como consecuencia de las actividades del hombre moderno hay un incremento de la contaminación por plomo en el medio ambiente. En condiciones normales la mayor parte del plomo procede de los alimentos, menos del 30% del aire y una mínima porción del agua.

En condiciones normales hay menos de 0,5 mg./litro de plomo; en tuberías de plomo a veces se encuentra más de 2 mg./litro y entonces el agua adquiere importancia como fuente de ingreso de plomo.

La excreción es lenta y se acumula algo a través de los años. El recién nacido tiene cantidades despreciables.

No se ha podido comprobar si en nuestro tiempo el organismo humano contiene más plomo que en épocas pasadas.

Se conocen los efectos específicos del plomo en algunos síntomas clínicos como son las consecuencias sobre síntesis hemática, aparición de cólicos saturninos o efectos neurológicos pero no se sabe nada sobre efectos cardiovasculares u otros sistemas.

En el momento presente no es posible determinar con exactitud cual es la dosis de ingestión diaria máxima que no debe sobrepasarse para prevenir una acumulación capaz de dar efectos en el hombre.

El problema hay que enfocarlo bajo las tres vertientes de posibilidad de ingestión por el agua, alimentos e inhalación.

Se estima que la contribución del agua como fuente de plomo al organismo es del 10% si se mantiene la cifra standard de 0,05mg/litro o sea la mitad de la aprobada por la O.M.S. en 1.971.

Vasijas vidriadas.

Sifones

Tuberías.

MERCURIO

Se conocen perfectamente las consecuencias de la intoxicación por mercurio desde tiempos muy antiguos. Por una parte en España se tiene la experiencia de las intoxicaciones de los mineros que trabajan en las Minas de Mercurio de Almadén bajo una atmósfera de mercurio inorgánico. La sintomatología de la afectación del sistema nervioso se caracteriza fundamentalmente por temblor. Otro tanto puede ocurrir en fábricas que emplean este metal como las de lámparas, fieltros, etc.

La intoxicación por mercurio debido a ingestión de mercurio orgánico ha sido descrita en Minamata y se ha demostrado que la causa fué la acumulación de metilmercurio en los peces de aquella bahía por descarga de este elemento en el mar. Entre los pescadores cuyo único alimento era la pesca se dieron casos mortales y otros de afectación de cerebro y cerebelo con pérdida de visión, sordera y vértigos.

Lo importante en el estudio de las posibles consecuencias del mercurio, consiste en que el metabolismo del mismo en el organismo humano y sus consecuencias son diferentes, según el tipo de compuestos.

El mercurio metálico y todo el mercurio inorgánico se absorbe poco en el intestino, mientras lo hace fácilmente por inhalación.

Por el contrario, el metilmercurio se absorbe muy bien por el intestino y además es capaz de atravesar la barrera placentaria causando alteraciones congénitas en el feto.

El fenil y metoxifenil mercurio, ocupan un lugar intermedio entre el mercurio inorgánico y el metilmercurio.

En condiciones de exposición al mercurio por lo tanto, los alquimercurios de cadena corta son los más peligrosos si se ingieren.

Una exposición diaria de 4mg de metilmercurio por kilo de peso puede dar como resultado una afectación de sistema nervioso y pueden encontrarse en su sangre y pelo niveles 10 veces mayores que en personas no expuestas. Debemos utilizar un factor de seguridad de 10 y por lo tanto no puede recomendarse más de 0,4 mg/kg. de peso, es decir, no más de 30 mg/kg. al día.

En el mercurio como para el plomo, hay que considerar la posibilidad de varias vías diferentes de entrada en el organismo.

Una concentración de 0,001 mg/l., es decir, 1 μg/litro de mercurio en agua daría para una ingestión de dos litros al día, 2 μg. de Hg diarios. Hemos dicho que podría llegarse a 30 μg. para una persona de 70 kgs. Aún quedaría la posibilidad real de absorber otros 28 μg. por otras vías hasta alcanzar un nivel que es 10 veces menor que la posibilidad de intoxicación.

2 μg. no tienen ningún riesgo aún en el caso que todo el mercurio del agua fuese un componente alquimercúrico que es el caso más desfavorable.

CADMIO

El cadmio en el medio ambiente puede proceder de las minas, de otras industrias de materiales plás-

ticos. En el agua pudiera proceder de sistemas de distribución con materiales galvanizados o plásticos que contienen cadmio.

El cadmio en agua varía en diferentes lugares desde 0,1 µg/litro o más de 10 µg/litro. Suponiendo la ingestión de 2 litros de aguas diarios la aportación varía entre 02 µg-20 µg.

Se absorbe aproximadamente el 6%, pero esta absorción está condicionada por la aportación de calcio y proteinas.

El cadmio que prácticamente no existe en el organismo humano al nacer, va aumentando su concentración en los tejidos debido a su acumulación principalmente en tejido renal.

Cuando en la corteza renal se alcanza una concentración de 200 mg/kg. de peso seco, el riñón se lesiona. Las cantidades "normales" en riñón en personas de 50 años son alrededor de 25-1000 mg/ l. Estos niveles se alcanzan con una ingestión diaria de 25-100 µg de cadmio. El Comité de expertos de la O.M.S./FAO, en 1972 recomendó la máxima ingestión diaria de cadmio por todos los componentes (alimentos, agua, etc.) fuese de 400-500 µg/semana, es decir, de 57-71 µg/día.

Los 10 µg/litro recomendados por la O.M.S. en agua de bebida aportarían la tercera parte de lo tolerado.

De los datos anteriores se deduce que el margen entre los niveles de Cadmio presentes en el riñón ahora y los niveles críticos es muy estrecho, por lo que, teniendo en cuenta que la aportación por vía degestiva será difícil reducirla, sería conveniente reducir la concentración de Cd. en agua a 5 µg/ litro.

En todo caso, los ingenieros deben de elegir bien el material de construcción para conducciones de forma que no contribuya al aporte de Cd en el agua.

MANGANESO

El manganeso es un elemento esencial cuyo aporte al organismo se hace fundamentalmente por los alimentos. Los vertebrados tienen excelentes mecanismos para regular la homeostasis del manganeso.

Los límites permisibles en el agua de bebida (0,1 mg/l. deseable y 0,5 mg/permisible) están dados por razones tecnológicas.

Estas concentraciones no representan peligro para las personas ya que la ingestión diaria puede llegar a 8 mg. sin peligro.

NITRATOS, NITRITOS Y NITROSAMINAS

Los nitratos y nitritos minerales pueden amenazar la salud sobre todo por contaminación del agua de pozo, principalmente en lugares donde se manejan los abonos o hay residuos animales.

Los nitritos transforman la hemoglobina en metahemoglobina impidiendo la buena oxigenación de los tejidos y órganos. Los niños son los más sensibles. Para que esto suceda se ha visto que el agua debe tener cantidades considerables. Los niños pequeños son muy susceptibles. En un estudio realizado los niños

afectados habían consumido agua con concentraciones entre 18 y 257 mg. de nitratos que pueden ser reducidos a nitritos por la flora bacteriana intestinal.

Ultimamente se ha estudiado la formación de nitrosaminas por reacción de aminas secundarias sobre los nitritos.

La importancia de las nitrosaminas deriva de que muchas de ellas son altamente cancerígenas en los animales con formación de tumores en muchos órganos.

La nitrosamina más simple es la dimetilnitrosamina a una dósis de 5 mg/kg o a 12 dósis de 0,5 mg/kg, es letal en las ovejas.

En Noruega se han encontrado dósis letales del mismo elemento en harina de pescado conservada con nitrito sódico.

La formación eventual de nitrosaminas cancerígenas en el estómago es preocupante.

En un experimento en 31 personas, a las que le administraron nitritos y difenilamina se pudo ver difenilnitrosamina cancerígena en el estómago.

Estamos ante una nueva etapa a considerar.

HIDROCARBUROS CANCERIGENOS. Benzo (a) pireno

Es un compuesto cancerígeno que no se disuelve en el agua pero que puede aumentarse su absorción por los detergentes. Puede ser interesante en la alimentación.

DETERGENTES.

Unicamente señalamos que para reemplazar a los fosfatos que se emplean en los detergentes se empezó a utilizar la sal sódica del ácido nitrilo triacético.

Se ha visto que este ácido modifica la toxicidad de los metales, bien facilitando la absorción por el organismo o su distribución, con lo que las cantidades previstas diarias de algún metal como el Hg se incrementaría con el consiguiente riesgo.

DUREZA DEL AGUA Y ENFERMEDADES CARDIOVASC ULARES

Algunos estudios admiten una correlación entre dureza del agua y arteriosclerosis cardiovascular, cardiopatías degenerativas, hipertensión, muertes súbitas de origen cardiovascular.

En ciudades donde se ha rebajado la dureza parece que han aumentado.

No se conoce cual es el elemento causante, sino solamente que existe una correlación entre dureza y enfermedad.

FLUOR

D.D.T.

Fluoruros. - El contenido en atmósfera urbana raramente sube de 2 $\mu g/m^3$, a no ser que en su proximidad exista un foco contaminador real. Los fluoruros atmosféricos pueden ejercer efectos nocivos en la agricultura. Algunos autores, han podido estudiar casos de fluorosis en los niños que han demostrado ser debidas a una contaminación atmosférica cerca de las fábricas de aluminio.

Amianto. - El amianto atmosférico puede provenir de varias fuentes, pero se tienen pocas informaciones sobre las concentraciones en la atmósfera de las ciudades. Parece que pueden variar entre 10 a 100 nanogramos por metro cúbico. Aúnque el problema se está estudiando, la realidad es que ordinariamente no parece a las concentraciones dichas tener demasiada importancia.

Sulfuro de hidrógeno y marcaptanos. - Son sustancias tóxicas de olor penetrante que proceden de diversos procesos industriales, sobre todo de refinerías de petróleo, fabricación de pasta de madera y de papel y de colorantes de base de azufre. Por razón de su olor desagradable estas sustancias se identifican rápidamente a concentraciones inferiores a los niveles de toxicidad.

Unicamente se conoce una catástrofe producida en 1950 en Dozarica (Méjico), en que el sulfuro de hidrógeno se escapó durante veinte minutos en esta ciudad coincidiendo con una inversión de temperatura. El accidente costó la vida a 22 personas y 320 más tuvieron que ser hospitalizados.

Este es uno de los afortunadamente escasos ejemplos mortales de este contaminante a nivel urbano, pero en todo caso vale para hacernos meditar sobre la negligencia que supone permitir que instalaciones peligrosas se instalen cerca de las ciudades sin la plena garantía de sistemas de seguridad.

La hipótesis de una relación cáncer-contaminación se basa en los siguientes hechos:

1º. - El cáncer de pulmón es más frecuente en zonas urbanas.

2º. - El aire contaminado contiene sustancias como el Benzo (a) pireno que es un cancerígeno experimental.

3º. - La frecuencia del cáncer de pulmón crece igual que aumenta la contaminación del aire.

Parece que existe correlación entre cáncer y zonas urbanas y rurales en el sentido de haber mayor proporción en las ciudades, sin embargo, la diferencia entre ellas es más grande donde la contaminación atmosférica,es más pequeña como Suecia, Noruega o Dinamarca.

HIDROCARBUROS POLICICLICOS

El análisis de ciertas emisiones de partículas por motores Diesel y de gasolina ha revelado la presencia de hidrocarburos policíclicos, algunos de los cuales pueden producir el cáncer de la piel en animales de Laboratorio. Los numerosos estudios epidemiológicos realizados para determinar si los gases de escape de los vehículos de motor pueden ser una de las causas de cáncer del pulmón no han permitido llegar a ninguna conclusión en este sentido y la opinión general de los especialistas es que si contribuyen a la etiología de esa enfermedad su influencia es pequeña en comparación con la del hábito de fumar. Estudios efectuados con animales han revelado, sin embargo, que la inhalación de ciertos hidrocarburos policíclicos: a), mezclados con irritantes químicos, o b), depositados por absorción sobre partículas inertes, pueden producir tumores del pulmón. Importa, por lo tanto, seguir de cerca los trabajos sobre este punto.

Queremos resaltar un trabajo de Stock y Campbell (1955), porque es uno de los fundamentales basamentos, en los que se apoya la posible demostración de una relación entre contaminación y cáncer de pulmón. Precisamente, queriendo diferenciar el factor urbano o rural, han evaluado los índices de mortalidad por cáncer de pulmón entre los habitantes de una zona rural, en el norte de Gales, y una ciudad importante, como Liverpool, distribuidos según los hábitos de fumar. Demostraron una elevación constante de cifras de cancerosos, desde los fumadores "normales" a los grandes fumadores, pero además una diferencia sensible y constante entre los habitantes de la ciudad y los de la zona rural, desfavorable para aquéllos.

Calculando la cantidad de 3-4 benzo-pireno, probablemente absorbido por la contaminación del aire y el tabaco, han obtenido una tal concordancia de cifras entre este hidrocarburo policiclíco y la mortalidad por cáncer, que les lleva a considerar que el benzopireno es la causa esencial de la enfermedad.

Naturalmente que otros trabajos epidemiológicos no son tan concluyentes, pero en casi todos se puede demostrar una correlación parcial.

TEMA 8

SOCIOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR :

M. L. DEL RIO MARTINEZ

Desde la aparición del hombre sobre la Tierra ha tenido que enfrentarse a la Naturaleza. Primero dependiendo de ella. Segundo dominándola, pero siempre depredándola.

Actualmente somos conscientes de que no podemos seguir por ese camino; una serie de hechos como la bomba de nepalm, deforestación del Vietnam, contaminación de los mares, rios, ciudades irrespirables, etc, nos han obligado a replantearnos hacia donde queremos ir. Comenzamos a ver a la Naturaleza como un BIEN ESCASO, con el que hay que convivir y no combatir. Tenemos que ser administradores de ese bien y dejar de considerarlo como nuestro "Botín".

Necesitamos conocer mejor ese MEDIO que nos rodea y que nos limita pero que en resumidas cuentas nos permite vivir.

Intentar conocer y analizar el Medio Ambiente, ver que acciones lo perturban y que medios correctores deben emplearse exige un esfuerzo interdisciplinario.

A través de un modelo teórico, delimitamos la sociedad en que actualmente vivimos, qué Entornos la delimitan, qué factores desestabilizan nuestro habitat, etc.

Para poder dar una respuesta positiva de CONTROL Y DEFENSA de una calidad de VIDA para nosotros y nuestros herederos.

1.1. PRINCIPIOS DE ECOLOGIA HUMANA

La sociología es la ciencia de la sociedad y como tal se ocupa de la observación y explicación sistemática y controlada de las relaciones sociales que surgen en su interior, así como de sus causas, circunstancias y consecuencias. Su objeto de interés es la actividad humana global, analizada en su conjunto y no desde un punto de vista único.

Los enfoques que se han dado a esta ciencia desde sus inicios han sido hechos desde muy diversas disciplinas: funcionalistas, marxistas, estructuralistas, etc, cada una de estas teorías aportan una visión y un análisis específico de las múltiples organizaciones sociales. Dentro de estos enfoques científicos que analizan la sociedad en su globalidad tenemos el de la Ecología Humana que podemos definir como la ciencia que estudia la relación del hombre con su medio ambiente, o bien como el estudio de nuestra morada (eko=casa, logos=tratado). En un principio fué un método de investigación social, dedicado en especial al estudio de la localización espacial de los fenómenos sociales.

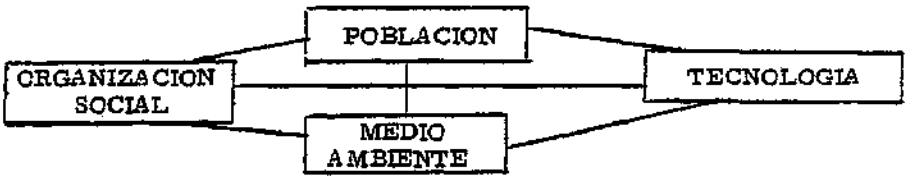
Tras una evolución fructífera en el campo del estudio de los fenomenos espaciales (escuela de Chicago), esta ciencia fué evolucionando hasta convertirse en una teoría ecológica sistémica, a la que dieron sus cimientos teóricos Guinn y Hawley.

El catedrático de Ecología Humana Juan Diez Nicolás, la define como un sistema teórico para los sitemas sociales en el espacio y en el tiempo. Siguiendo los criterios establecidos por Hawley dice: "La cuestión fundamental en todo sistema social es la existencia de una población que tiene que adaptarse a su Medio Ambiente, un medio ambiente que es siempre social, aunque este constituido también por elementos físicos. Esta adaptación se realiza siempre colectivamente y no de forma

individual de manera que la población realiza siempre su adaptación mediante un conjunto de relaciones simbióticas y comensalistas.

1.2. EL ECOSISTEMA

Su marco de referencia es el ECOSISTEMA o complejo ecológico, constituido por cuatro elementos:



La característica fundamental es la interdependencia entre los cuatro factores.

La base de esta interdependencia está en la incapacidad del hombre para subsistir en la Naturaleza. El hombre es el animal más desvalido, pero también el único capaz de pensar y por tanto el que tiene mayor capacidad de adaptación. Es un ser sociable que apenas puede conseguir nada como individuo aislado; a medida que los hombres se reunen y juntan sus energías, es decir en la medida en que se organizan son capaces de una adaptación más completa.

Puesto que son los individuos como grupo organizado los que se relacionan con la naturaleza, la unidad de análisis en Ecología Humana, no puede ser el individuo aislado, sino una población o conjunto de individuos que viven en un determinado espacio y tiempo.

Esta población se relaciona con un medio o conjunto de condiciones naturales y sociales que permiten su supervivencia y a su vez lo va transformando. El ajuste de una población a su medio no es pués un modo de ser o equilibrio estático, sino que es un proceso continuo y dinámico. De dicha interacción surge la cultura en su doble manifestación: material o Tecnológica, como conjunto de instrumentos inventados por el hombre para lograr un mayor bienestar. No material u organización social que es la forma que adoptan los grupos humanos para coexistir.

Esta organización podemos verla desde dos perspectivas, la primera como un todo completo en el que sus unidades realizan ciertas funciones para lograr alcanzar un objetivo común y están entrelazadas entre sí mediante unas relaciones. Desde la segunda perspectiva la organización a la vez que modifica el medio se ve transformada a su vez por él en un proceso de adaptación. Siempre que se produce un cambio, la población busca una nueva forma de adaptación es decir, una nueva organización que responda a las necesidades de ese momento.

La principal dificultad de este proceso de transformación o dinámica de la organización consiste en controlar el cambio con objeto de conseguir un equilibrio. En Ecología Humana la organización nunca es un sistema cerrado que pueda llegar a la estabilidad total, ya que la población siempre está abierta a su medio y recibe imputs que la transforman.

Las relaciones que se establecen entre los cuatro factores del ecosistema son múltiples y diferentes según cada época y cada comunidad concreta. Ante un estímulo determinado, cada organización responde de una manera, de acuerdo a su nivel técnico y educativo, su sistema de valores, su número de habitantes, e incluso las condiciones que le impone el medio ambiente, físico y social en que se desarrolla.

No obstante se pueden establecer ciertas generalizaciones: en primer lugar una complejización creciente que se manifiesta a través de la diferenciación de funciones. En segundo lugar la interdependencia de las distintas unidades o grupos de la comunidad que está basada tanto en las diferencias como en las semejanzas que tienen estas entre sí (grupos simbióticos y comensalistas).

En tercer lugar hay que mencionar las relaciones de dominación. En efecto, a medida que avanza la diferenciación de funciones se van formando bloques o grupos homogéneos.

El más fuerte tiende a dominar, al igual que en las especies animales; es el sistema más complejo y diferenciado el que se impondrá sobre los otros subsistemas. Por último cada sistema tiende a crecer para bastarse a sí mismo y poder mantener relaciones adecuadas con otros sistemas.

Vemos que este ecosistema funciona como un sistema abierto que recibe imputs, los transforma y envia a través de un ciclo no lineal outputs fuera del sistema.

Todas las unidades tienen acceso al medio, reciben información y en consecuencia se adaptan. El proceso de diferenciación vá paralelo a un proceso de integración y coordinación para mantener el equilibrio del sistema.

Este equilibrio dinámico se mantiene mediante dos procesos:

- Uno interno: diferenciación de formas e integración de las misma.
- Otro externo: respuesta continua al impacto recibido.

El comportamiento humano es extraordinariamente complejo y flexible. Quizá la cualidad que más distingue al hombre es la de reflexión sobre sí mismo y sobre sus actos que le permite una adaptación ilimitada ante situaciones nuevas. El hombre reacciona ante el medio y a través de unos utensilios (técnica) crea cultura. Sin embargo en su relación con el medio existen unos límites, es la entropía del sistema o desaparición del mismo; cuando no es posible responder a las nuevas condiciones ambientales, (físicas, económicas, políticas, culturales...) sobreviene el shock en el que el sistema es incapaz de adaptarse.

Actualmente la sociedad industrial avanzada es consciente de los enormes desequilibrios que se han provocado y que se vuelven contra ella. La solución está en conocer primero las características del ecosistema social: situación de la población en la actualidad y su potencial; desarrollo de la tecnología, la organización social y sus múltiples subsistemas y el medio ambiente o entorno en el que tiene que desenvolverse dicha organización.

Después tener conocimiento de los cambios operados, de las disfunciones o desequilibrios que se presentan así como los beneficios que el sistema produce. Y por último prever una metodología de reacción al cambio para que este no sea incontrolado y sobrevenga la entropía. Este control sólo se puede lograr danto una respuesta adecuada de orientación a través de las actitudes que definen al ser humano: creatividad, reflexión y adaptación.

1.3. MODELO DE INTERRELACION HISTORICO

Los cuatro componentes del ecosistema se interrelacionan de continuo; en la Tabla 8.1.1. podemos

ver de una manera simplificada la evolución einterrelación de estos cuatro elementos a lo largo de la historia. Puesto que en otras ponencias se desarrolla tanto la problemática de la tecnología, como la de los recursos naturales, me centraré en los siguientes capítulos en dar una visión de la situación de la población y de la organización social.

TABLA 8.1.1.

Años	Etapas	Tecnología		Población	Organización		Medio Ambiente
		Inventos	Energía Empleada		Social	Económica	
1 a 2 millones	Revoluc. Cultural	Fuego Polvora	Escasa madera.	99% de su existencia TN TM TC 1 e=35 años situación: equilibrio	Nómadas 1 hab/Km^2	Recolectores Parásitos	Depredación Biosfera. Acumulación riqueza energética.
8.000	Rev.Agrícola.	Rueda Herradura Arado Fertilizantes	Animal eólica madera agua	Ruptura equilibrio poblac. TN TM TC 1 situación: equilibrio causas:hambre, pestes, guerras.	Primeras comunidades estables. primeras ciudades. ocio dorado	División trabajo. 1er comercio excedente. Clases sociales	Control naturaleza: cultivo y ganadería. Acumulación riqueza energética.
s.XI a XIII	2ª rev. agrícola	Renovación cultivos. Roturación nuevas tierras. Brújula.	Animal, eólica, madera, agua.	equilibrio con escaso crecimiento.	Ciudades	Comercio Artesanos Oficios	Extensión nuevas tierras productivas
s. XVI	Rev. científica	Incremento Investigación	Incremento uso energía	Auge demográfico occidente.	El hombre= centro. Dominio otras zonas geográficas. Soc. Estamental. Monarquía.	1er capitalis (auge comercio). Colonialismo	
s.XVIII finales s. XIX	Rev. Industrial	Máquina vapor Electricidad Elaboración petróleo. Medicina	Incremento demanda energética. carbón, gas	Aumento espectacular de la población.	Burocratización. Exodo campo. Desarrollo urbano Conflicto social en soc. clasista.	Capitalismo libre mercado. Concentración del capital. Trabajador=mercancía.	Deroche riqueza energética. Se consume capital.
s. XX	Rev.Tecnica. Cibernética	Uso del átomo ordenadores Telecomunicaciones.	Despilfarro: carbón, petróleo, gas, nuclear.	Transición, Explosión y Implosión demográfica.	Metrópolis Alienación y anonimato. Desequilibrio 3/4 población hambre.	Nacionalismos. Neocolonialismo Centro-periferia. Norte-Sur. Div. Interna Trabajo. Multinacionales. Intervención Estado	Despilfarro Destrucción "Toma conciencia".

TABLA 8.1.1. (Continuación).

Años	Etapas	Tecnología		Población	Organización		Medio Ambiente
		Inventos	Energía Empleada		Social	Económica	
s. XXI	Rev. Ecológica. Cósmica	Tecnologia adecuada	Productividad energética. Uso eficiente y racional de todas.	Nuevo equilibrio. Causas: consciencia y planificación deseada.	Desarrollo máximo organización social. Potenciación unidades base. Dirección participación.	Ecología vs. Economía. Planif. democrática. Convergencia sistemas (soc. y cap)	Pacto con la naturaleza. Uso de sus rentas.

2.1. EVOLUCION HISTORICA

En la Conferencia de Bucarest (1974) se la definió como "fuente inagotable de creatividad y factor determinante del progreso".

La población es el eje sobre el que giran los problemas medioambientales; forma parte de la Naturaleza como uno de sus componentes básicos y a su vez actua de una manera positiva introduciendo mejoras en la agricultura, dominando los cauces de los rios, etc; también incide negativamente sobre la naturaleza introduciendo cambios que la deterioran (tala de árboles, resíduos, urbanización, etc).

Desde la aparición del hombre sobre la tierra hasta 1650, la población creció muy lentamente manteniéndose por debajo de los quinientos millones. A partir del año 1850 en que se alcanzó los primeros mil millones la escalada de población fué enorme, en sólo 80 años se alcanzaron los siguientes mil millones y a partir de 1930 se pasó en sólo 50 años a duplicar la población pasando de dos mil a cuatro mil millones de habitantes sobre la tierra.

AÑO	MILLONES HABITANTES	TIEMPO DUPLICACION
1650	500	
1850	1000	200
1930	2000	80
1980	4000	50
2015	8000	35

Dicho de otra manera, se necesitarán de uno a dos millones de años para una población de mil millones y en la actualidad sólo se necesitan 20 años para sumar esa misma cifra a las que ya estamos viviendo.

A partir de 1798 con Malthus han sido numerosos los autores que se han ocupado del tema de la población, bajo diversas perspectivas. En general son teorías que relacionan el crecimiento en progresión geométrica de los hombre frente al crecimiento en progresión aritmética de los alimentos (Malthus).

La controversia sobre los limites de nuestros recursos y el crecimiento desmesurado de la población fué ya señalado por los grandes economistas del pasado. Adam Smith, Ricard o Marx, etc, siendo desarrolladas a partir de la gran depresión del 29 especialmente por J.M. Keynes.

A partir de la última década la preocupación es creciente ante la señal de alarma de la explosión demográfica acaedida en los países en desarrollo. Existen alarmantes proyecciones hacia el futuro que marcan un cuadro dramático en el que la vida apenas es posible a menos que los gobiernos y los hombres en general tomen conciencia del problema y pongan medidas que pongan límites a este crecimiento exponencial y se llege a un nuevo equilibrio de la población.

Pablo M. Cipoila mantiene la "tesis del equilibrio" en la evolución demográfica de la Tierra. En las tres fases principales de esta evolución (recolectores, agrícola e industrial), lo normal es un equili-

brio de la población que resulta de que las tasas de natalidad y las de mortalidad se anulan entre sí, dando como resultado un crecimiento próximo al cero. El paso de un equilibrio a otro tras ocurrir una revolución provoca un cierto crecimiento.

El equilibrio antes de la revolución industrial lo provocaban las guerras, hambre y grandes epidemias haciendo que la mortalidad se elevase a niveles de 150-400‰.

La tésis de Cipolla apunta que en un futuro próximo la natalidad y mortalidad encontraran un nuevo equilibrio debido a un control consciente de la población.

2.2. CARACTERISTICAS ACTUALES DE LA POBLACION:

Después de la revolución industrial en los países que la llevaron a cabo se produce una serie de cambios en la salubridad, en la medicina y en los alimentos que produjo un rápido descenso en los indices de mortalidad, se pasó de casi un 30 ‰ a un 10‰.

Así mismo la sociedad fué transformándose en sus actitudes, valores e instituciones. La familia dejó de ser la celula de producción y los hijos dejaron de ser necesarios como "brazos" y se convirtieron en consumidores. La fuerza guerrera fué sustituida por ejercitos altamente tecnificados. El incremento del bienestar material provocó en la sociedad unas necesidades cada vez mayores de confort y realización personal que una familia numerosa impedía conseguir. Así mismo la mujer poco a poco fué incorporándose al trabajo y adquiriendo un puesto en la sociedad similar al del hombre.

Todo ello dió como resultado un paulatino, pero continuo e irreversible descenso de la natalidad. Actualmente la TN en estos países es de un 15‰ a un 20‰ . Esta transformación simultánea de ambas tasas ha permitido que la población halla encontrado su nuevo equilibrio con una tasa de crecimiento próxima a 1. Es el proceso llamado de transición demográfica.

Por el contrario en los países actualmente en vías de desarrollo, accedieron muy rápidamente a los adelantos medios e higiénicos, sin que se siguiera una paralela transformación de la sociedad. Las tasas de mortalidad descendieron a un 10-15‰ mientras que las de natalidad se mantuvieron entre un 25‰ y un 40‰ , con lo que el crecimiento es de un 2% a un 4% . La población en muy pocos años se duplica y los países no estan preparados para atender sus necesidades. Es la explosión demográfica.

PAISES	T.N. ‰	T.M. ‰	T.C. ‰
Países Desarrollados	15 a 20	10	1
Países en Desarrollo	40 a 25	10 a 15	2 a 3,5
España	19,5	8,3	1
Mundial	31,5	12,8	2

Cuadro de datos demográficos de las Naciones Unidas en el año 1975.

Datos de Naciones Unidas - 1975

	Poblac. 1975	TN	TM	TCAM	Años Dupl.	Poblac. 2000	TMI	Poblac. -15	$\bar{e}$	e_0
Mundial	3.967	31,5	12,8	1,9	36	6.250	98	36	22,4	55
Africa	401	46,3	18,2	2,6	27	813	156	44	17,8	41
Norte América	237	16,5	9,3	0,9	77	296	18	25	28,5	71
Sur América	324	36,9	9,2	2,7	26	620	79	42	18,8	61
Europa	473	16,1	10,4	0,6	116	540	24	24	32,4	71
Asia	2.255	34,9	13,6	2,1	33	3.636	102	38	20,8	54
USSR	255	17,8	7,9	1,0	69	315	26	36	22,3	70
Oceanía	21	24,8	9,3	2,0	35	33	50	31	25,4	66
España	354	19,5	8,3	1,0	69	44,9	15	27	30,3	72

2.3. CARACTERISTICAS EN ESPAÑA

En España la transición demográfica se realizó siguiendo el modelo europeo, aunque con cierto retraso.

En el año 1.900 se redujo la mortalidad catastrófica y la ordinaria después de 1918, año en que hubo una gripe cuyos efectos demográficos pueden ser comparables a los de la guerra civil del 36, pues murieron en un solo mes 150.000 habitantes.

Entre 1900 y 1936 la Tasa de Natalidad fué descendiendo progresivamente, unido a cambios socio-culturales.

En la guerra de 1936-39 el bache demográfico fué grande debido tanto al número de muertos como al número de no nacidos. Entre 1956 y 1964 se produjo un "baby boom" debido al desahogo económico y a la política pronatalismo llevada a cabo por el Gobierno (objetivo los 40 millones de habitantes). A partir de 1964 se comienza a controlar sistemáticamente la natalidad y desciende nuevamente la Tasa de Natalidad. Según el catedrático Diez Nicolás, el ciclo de la transición no está terminado y la natalidad descenderá algo más del 19% en que se encuentra en la actualidad.

Datos de la Población Española.

Año	1541	1711	1790	1857	1910	1960	1980
Millones habitantes	7,5	7,5	10	15	20	30	35

La densidad es de 67 hab/km^2, que podemos considerarla baja en relación a otros países europeos (Reino Unido 228, Bélgica 316, Alemania 237). Sin embargo su diposición espacial es de una gran concentración, ya que durante la década de los 60 y unido al proceso de industrialización la población se concentra en el centro (Madrid, Zaragoza y Sevilla) y en la periferia (Norte y costa mediterránea) quedando despoblado el resto de España.

3.1. ANALISIS DEL SISTEMA SOCIAL. DELIMITACION DE LOS SUBSISTEMAS SOCIALES

La sociedad vista desde la perspectiva de la Ecología-Humana es un sistema de individuos o grupos con funciones específicas interdependientes y complementarias, integradas para lograr un objetivo común y afectadas por los cambios ocurridos en el medio ambiente.

Esta sociedad está formada por muchos subsistemas en mutua interacción dinámica, la delimitación de los mismos siempre es teórica y a efectos de una posible operatividad, ya que en la realidad no se dan fronteras exactas entre un subsistema y otro. En este estudio y en vistas a encuadrar los diferentes factores sociales que pueden resultar afectados en un proyecto, se han delimitado los siguientes subsistemas:

Medio Ambiente Social
Medio Ambiente Cultural
Medio Ambiente Físico
Medio Ambiente Económico
Medio Ambiente Político

El análisis de los subsistemas tiene que partir de un conocimiento de los mismos, de sus procesos, de sus propósitos, de sus funciones, de sus objetivos, sean paralelos o contrapuestos.

En sus interacciones conviene destacar que la relación humana al medio ambiente es el resultado de un proceso de toma de decisiones y no de la suerte o del azar. Existiendo un mismo conjunto de condiciones exteriores al sistema, entre las cuales se escogerá una. En este proceso de decisión intervendrán numerosos factores, unos que tratarán de ser objetivos y científicos, otros serán los intereses de los diferentes grupos y en última instancia la toma de decisión será política y deberá recoger todos los imputs recibidos.

Toda organización social está basada indirectamente en una jerarquía de valores que influirán en esta toma de decisiones ya que impone un determinado valor ecológico y la medida de los impactos.

Medio Ambiente Físico

Al considerar a la sociedad como un ecosistema, el primer problema que surge de su interacción con el medio es el de la administración de recursos, si consideramos que nuestro sistema social no está aislado, sino que a su vez es un subsistema del sistema mundial, con todas las connotaciones que tiene el concepto de sistema; esta administración y uso de recursos se hace sumamente compleja y el estudio y análisis de los mismos no debería quedar reducido a un análisis de la comunidad local afectada, sino tratar de abarcar al máximo las relaciones de dependencia, de competición y de colaboración con otros subsistemas.

La realización de un proyecto, Ley, actividad en nuestra sociedad requerirá el uso de unos recursos físicos y producirá unos cambios en el territorio, utilización del suelo, explotación de bosques, extracción de minerales, urbanización, etc.

Nuestro análisis del medio físico será desde el punto de vista de su interacción con el bienestar o calidad de vida humana y no como un análisis de los componentes físicos que resulten afectados por el proyecto.

Calidad de vida vs. Disfunciones sociales.

El concepto de calidad de vida surge como consecuencia de una evolución de los países desarrollados que

habiendo alcanzado un nivel económico alto y un incremento de la educación de su población, ya no les es suficiente con tener un bienestar material, sino que la tendencia de la demanda es hacia bienes cualitativos y de desarrollo integral del hombre. Es la transformación de un crecimiento exclusivamente cuantitativo en otro más selectivo y cualitativo.

En los países desarrollados los medios básicos o de subsistencia están asegurados para casi toda la población, es por ello que la demanda se centra en un progreso marcado por un objetivo que supera el meramente económico.

Entre las diversas demandas sociales aparecidas en estos años, podemos mencionar las siguientes:

- Participación
- Estilos de vida sanos y seguros
- Procesos y productos limpios
- Desarrollo de recursos renovables
- Tecnología adecuada
- Instituciones a escala humana. etc.

Estas demandas son fruto de las disfunciones que el desarrollo ha provocado sobre la sociedad, unido al mayor nivel de la población y su ascenso en motivaciones de un orden jerárquico superior (Maslow)

La aparición de este tipo de demandas sociales es diferente según sea cada sociedad (grado de desarrollo económico, nivel cultural, grado de participación, valores culturales, etc.).

En España, tras la etapa de expansión económica de los años 60, se ha pasado actualmente a tomar conciencia de que el tipo de desarrollo o más concretamente de crecimiento que se ha realizado nos lleva a unas disfunciones previsibles y no deseadas, y de hecho se constata los desequilibrios entre regiones, entre zonas rurales y urbanas, las rupturas de ecosistemas físicos, contaminación, etc. que ha producido una industrialización y un proceso de urbanización incontrolados y no planificados.

La crisis por la que actualmente pasamos es común a la de otros países más desarrollados cuyas poblaciones tienen unas necesidades de mejoras en su calidad de vida que van más allá de cubrir su sustento, habitat o vestido, por ello ante la construcción o realización de un nuevo proyecto las demandas sociales van encaminada a obtener no tanto un desarrollo económico, como un desarrollo armónico en la región donde ha de ser instalado, es decir que respete su paisaje, sus costumbres, sus creencias, que les permita tener acceso a unas instalaciones de bienes y servicios superiores a las que tenían sin la realización del proyecto, que las nuevas vías de transporte no rompan la comunicación entre comunidades unidas, que existan zonas de exparcimiento y ocio sin contaminar y sobre todo que antes de llevar a cabo cualquier acción se les comunique y se les permita participar para elegir su propio desarrollo, acorde con sus necesidades.

Medio Ambiente Cultural

Cultura, según E. Tylor es " ese todo complejo que incluye el conocimiento, la creencia, el arte, la moral, la ley, la costumbre, y todas las demás capacidades y hábitos adquiridos por el hombre como miembro de una sociedad".

Según la Ecología Humana la cultura es el medio ambiente físico transformado por el hombre a través de milenios de años. Los sistemas social, económico y político que analizamos separadamente son expresiones concretas de esa cultura. Los continuos cambios que nos ocurren y de los que sólo en una mínima parte somos conscientes, son reflejo de una cultura, y que son debidos a los procesos de innovación, difusión o conflicto.

En efecto en toda sociedad, presente o pasada existen ciertos valores o ideas subyacentes ;amor, justicia, igualdad, propiedad, competencia, racionalidad... que mueven a sus individuos o grupos a obrar en una determinada dirección; así actualmente hablamos de una cultura occidental y otra oriental y cada país, heredero de unos valores concretos moldea una organización distinta del de su vecino país. No vamos a comentar las culturas actuales, pero sí que dentro de nuestra cultura occidental post-industrial no todas las comunidades han evolucionado lo mismo, ni han logrado un desarrollo similar. En el modelo de desarrollo español, con su despegue vertiginoso y desordenado de los años 60, por supuesto que lo determinante fue el sistema económico y el sistema político, pero que duda cabe que también jugaron un papel importante las variopintas culturas del masaico español, tan rico en herencias de pueblos y razas diferentes.

Actualmente estas diferencias, estos matices culturales formados por lenguas, tradiciones, conductas, costumbres han aflorado con una pujanza nueva y cada comunidad se siente orgullosa de su rica y diferente tradición. El lema actual es defender, enriquecer y diferenciar las propias culturas; no importa que en muchos casos se haya convertido más en tema político que cultural, el hecho es que está ahí, y hay que tenerlo en cuenta.

En Estados Unidos, pobres en años de historia y culturas propias, pero orgullosos de ellas, las defienden y tratan no sólo de que no desaparezcan sino también de enriquecerlas.

Medio Ambiente Social

La Ecología Humana no es sólo la ciencia que estudia las relaciones de los hombres con su habitar, sino también las relaciones de las comunidades entre sí.

En el proceso histórico de la formación de las organizaciones humanas se da una serie de características, en primer lugar hay una complejización creciente, que se manifiesta a través de un proceso de diferenciación de funciones o de tareas. En segundo lugar existe una interdependencia entre las distintas unidades o grupos de hombres, basado tanto en las diferencias como en las semejanzas.

En tercer lugar, en cada sistema o subsistema social a medida que avanza la diferenciación de tareas, se va dependiendo cada vez más unos de otros y se van formando bloques o grupos más o menos homogéneos, campesinos, obreros, políticos, ganaderos, empresarios, etc. El más fuerte de estos grupos tiende a dominar; los sistemas más complejos tienden a dominar a los menos diferenciados, así la ciudad tiende a dominar a los pueblos.

El estudio de la complejización creciente de la humanidad, ha dado lugar a numerosas teorías de los científicos sociales que tratan de penetrar el confuso laberinto de contradiciones: violencia, intercambios, instituciones, lazos de amistad, lucha de clases, diferencias sociales, etc.

La clasificación de este haz de relaciones en nuestra compleja sociedad española es muy difícil de bosquejar y más de desentrañar que factores de todos ellos interesan a nuestro estudio.

Esta intrincada red social no se puede desentrañar sóla pues las relaciones de la estructura social con el sistema económico político y cultural son básicas para comprenderlas.

En aras de un análisis eficaz delimitaremos unas fronteras:

La estructura de clases: o proceso de estratificación social, tema tan estudiado y debatido por todos los sociólogos se fundamenta en las desigualdades sociales, o marcadas diferencias entre unos grupos y otros. El autor que más énfasis ha puesto en este estudio fue K. Marx como una lucha radical de clases, "la historia de todas las sociedades que han existido hasta nuestros días es la historia de la lucha de clases"; para él la clase se define en relación a la propiedad de los medios de producción; otros autores, como W. Mills atribuyen las desigualdades y el conflicto entre clases a la lucha por el poder. Max Weber consideraba a la sociedad como una cárcel burocrática que envuelve progresivamente al hombre, los barrotes son múltiples: costumbres. instituciones.... y la estratificación social o clase a la que se pertenece.

El estudio de la estratificación va unido al estudio de su evolución en cada tipo de organización o sistema social. Así en cada " tipo" o "modelo" de sistema la estratificación tiene unas características. Si tomamos el modelo "tradicional" e "industrial" podemos hacer la siguiente clasificación:

	Sociedad tradicional	Sociedad industrial
	Castas	Clases
STATUS	Estamentos	Ocupación
	Status adscripto	Status adquirido
	Clases cerradas	Clases abiertas
	No movilidad	Movilidad social

Dentro de las características de la sociedad industrial hay una gran variación según sea urbana o rural. En la E. I. A. será bueno conocer la estructura de clases que existe en la comunidad en vistas a las posibles conexiones y vinculaciones de cada clase con los sistemas políticos y económicos, así como las modificaciones que implique el proyecto sobre las mismas pueda resultar como impacto indirecto con recrudecimiento del conflicto.

La estructura social tema muy ligado al punto anterior es el estudio del grado de cohesión social logrado en una sociedad; los marginados o grupos que no participan de la misma cultura y no se integran en las relaciones sociales establecidas y el análisis de los conflictos y violencia que dichos grupos provocan en las instituciones relaciones y procesos "formales" de un sistema social.

La desorganización social abarca varios fenómenos como:

- El conflicto social en el que se dán normas y valores incompatibles que parecen exigir diferentes tipos de conducta en una misma situación. Es por ejemplo el conflicto que se dá para el católico consciente de la necesidad de un control riguroso de la natalidad y la falta de ayuda que encuentra en los principios de la Iglesia. O a la juventud que se le presenta el dilema de elegir entre la obediencia a las ideas tradicionales de los padres y los nuevos conceptos que adquieren cada día en la nueva sociedad en que viven..

- Conflicto de culturas, es el desajuste que se encuentra entre las normas y valores y la estructura social. Esto es lo que se llama Anomía, cuando se produce una aguda discrepancia entre las normas y metas culturales y las posibilidades, socialmente estructuradas, de comportarse de acuerdo con ellas. Toda cultura es-

tablece objetivos y metas que todos debemos buscar y nos dice los métodos que debemos emplear. Pero si el objetivo deseado no está a nuestro alcance y los medios no son los adecuados surge la desviación. La ajustación de la conducta en función del éxito se hace explícita en las épocas de transicción de un status social a otro, dando lugar a la anomía. E. Durkheim vé la base y el origen de esta marginación en la división del trabajo.

Su teoría es que todas las sociedades tienen desviaciones, no son perfectas y se producen delitos que son distintos según sea el tipo de sociedad:

A) Con escaso grado de desarrollo - Poca división del trabajo

B) Con mucho grado de desarrollo - Mucha división del trabajo

"A" es la sociedad rural. que se caracteriza por:

- Poca división del trabajo
- Clase baja tribus primitivas
- Solidaridad mecánica
- Mayor autoritarismo
- Menos libertad (controlados los unos por los otros)
- Status adscritos
- Gran afectividad

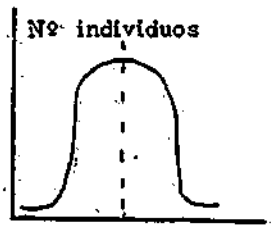
"B" es la sociedad moderna, industrial. es decir la CIUDAD:

- Mucha división del trabajo
- Mayor solidaridad (Orgánica)
- Mayor autonomía
- Indeterminación de la conciencia colectiva
- Status adquiridos
- Afectividad neutra

Según esto y estadísticamente el delito es menor en el campo que en la ciudad. Esto se explica porque tienen menos oportunidad de delinquir, están mucho más vigilados. Por tanto es un error decir que a menos delitos mayor moral.

Las curvas de anomía serían entonces:

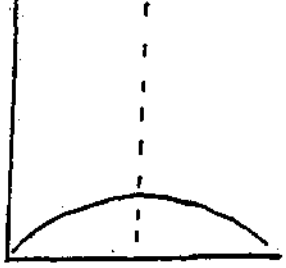
A Campo



X= Normas establecidas

±D= Desviaciones

B Ciudad



Vemos claramente que en el campo la mayor parte de los individuos se comportan según la media de moral

establecida y sus desviaciones son mínimas. pero cuando se producen son más violentas. La pretendida conformidad del campo no es más que una represión.

En las sociedades orgánicas estas desviaciones son grandes porque la diferenciación es mayor, dependen las unas de las otras. pero las normas represivas son menores.

En la ciudad predomina el status adquirido y no se dá en ellas el sentimiento de fatalismo que domina en el status adscrito conformándose con todo, sino que por el contrario hay una mayor incorformidad, frustración y agresión.

Las causas, como hemos visto, de la conducta desvíada pueden ser muchas y clasificadas de distinta manera según el punto de partida que tomemos; pero esta claro que sobre los hechos concretos se van tejiendo y entretejiendo complicadas manifestaciones infividualizadas, cuya trama desorienta para llegar a conocer la totalidad del tema.

Enmarcado el tema es necesario descender de la marginación a los grupos marginados, como un paso más para comprender el problema.

La conducta desvíada y la exclusión social son las coordenadas en las que se insertan todos y cada uno de los marginados en mayor o menor grado.

Ofrecer una tipología de estos grupos que contenga indicadores de válidez universal mínima es muy difícil. Diversos autores han presentado esquemas de las distintas formas de desviación, aunque son discutibles según a qué sociedad vayan referidos.

Veamos algunos de ellos:

Merton los clasifica más que como reflejo de modos de personalidad individual, como diferentes comportamientos derivados de diversas situaciones.

Parte de los medios y fines institucionalizados:

	Medios	Fines	Conducta
Conformidad	+	+	Adaptados
Innovación	-	+	Ladrones, asesinos
Ritualista	+	-	Funcionario
Retirado	-	-	Vagabundos
Rebelión	±	±	Intelectual Político

Innovación: Surge como consecuencia del gran énfasis puesto en los fines, relacionados con el éxito. "El fin justifica los medios". Es la reacción desviada más facilmente perceptible. Y no solamente se dá en la clase baja, a la que le falta lo esencial sino en todos los status. puede ser un corredor que por lograr el éxito se droga o como se vió en una encuesta realizada entre 1.700 personas procedentes de la clase media, en New York que el 99% de las personas honradas habían violado las normas del código penal.

Ritualista: Incapaces de realizar los objetivos propuestos renuncian a ellos, pero guardan farisaicamente -

las apariencias conformándose a las reglas que regulan el trabajo.

Retirado: Son las personas que han perdido la esperanza y se encuentran hundidas en su miseria. Renuncian a todo. Son los vagabundos, los alcohólicos, los drogadictos o como la forma más reciente son los hippies que no aceptan ni los medios, ni los fines que les presentan sus mayores, pero tampoco los sustituyen por nuevos valores.

Esta apatía la encontramos por el mundo entero, de muy diversas maneras. Son por ejemplo los incas, en los Andes, viviendo en una tierra inhóspita y abandonados de la ayuda del poder central. En España lo encontramos en los gitanos, despreciados y apartados de nuestra sociedad.

Rebelión: Son los que niegan la red de medios y fines de su sociedad, promoviendo otros nuevos. Es una rebelión contra los usos.

Los tipos más importantes de rebelión asumen una forma política, para realizar nuevos valores que sustituyan a los viejos. Tratan de alcanzar el poder y derrocar la estructura social, en la que encuentran los motivos de frustación.

Para Durkheim, la clasificación de estos grupos la ve según la teoría de la división del trabajo, y según esto explica cada tipo de desviación. En su teoría del suicidio, dice que debido a la división del trabajo aumenta la autonomía y hay un mayor grado de reflexión, por consiguiente el hombre tiende a pensar más "el por qué" de su vida y de las cosas. Se aleja del sistema y se individualiza. Surge así el suicidio egoísta.

Para Durheim los conflictos tienen la función de contribuir a la mejora de las estructuras, disminuyen la tasa de injusticia. Toda determinada sociedad posee una curva de desviación lógica, por encima o por debajo de la cual entra en anomía pues es anormal. Ve la posibilidad de que en una sociedad se dén situaciones de ruptura y de cambio. Sobre este mismo punto de vista K. Marx dice que es necesario que en el proceso de desarrollo de una sociedad capitalista tiene que darse por fuerza el conflicto pues el capitalista abusa y explota al proletariado: Hay una contradicción entre lo individual y lo social que tiene que desembocar en la sociedad socialista.

MEDIO AMBIENTE POLITICO

David Easton fue uno de los primeros politólogos que analizó el marco político, dentro del análisis dinámico de sistemas. El concepto central del subsistema político es la toma de decisiones unida a la retroalimentación. Concibe el subsistema como una macroorganización envuelta por el Medio Ambiente, a través del cual le llegan insumos, demandas y apoyos, que son procesados a fin de producir decisiones y políticas orientadas a la satisfacción de demandas y necesidades diversas de la población. Es un proceso complejo de múltiples actividades interdependientes y es diferente según sea el sistema ideológico que impere en cada país, así la toma de decisiones en un sistema autoritario no requiere para su retroalimentación de una participación activa mientras que un sistema democrático exige para su buen funcionamiento de todo un proceso de participación estructurado que implique al mayor número posible de población. A medida que en un país aumenta el nivel cultural y económico las necesidades de los individuos recorren un camino progresivo de incremento en sus demandas de autorrealización a través de una participación activa en todas las etapas de la toma de decisiones.

La dificultad de delimitar el Medio Ambiente Político viene de la imposibilidad de separar lo social de lo

estrictamente político, pues el hombre, como "animal político" que es, actúa en grupo y se organiza con el objetivo de actuar tanto sobre la naturaleza, como sobre la propia organización social. Así por ejemplo una asociación de vecinos puede ser un grupo que coopera en fines estrictamente sociales o convertirse en un elemento altamente politizado; no es fácil encontrar la frontera que separa los dos conceptos. A efectos de enumerar unos factores o dimensiones políticas básicas será necesario limitarse a aquellas situaciones en las que lo político esté enmarcado por la presencia de partidos políticos formalizados, es decir en marcar lo político como la estructura de poder político que actúa en las tres vertientes: legislativa, ejecutiva y judicial.

Habrá que distinguir dentro de esa estructura:

a) La participación real de la población a través de su actuación dentro de los diversos partidos y su influencia en las diversas convocatorias políticas nacionales o locales (elecciones y referendum).

b) La posibilidad o cauces existentes para ejercer dicha participación : instituciones, cauces legales, igualdad, etc.

c) Opinión subjetiva o actividad de los individuos y grupos hacia el sistema, ya que lo real queda mediatizado por la percepción que de ello se tenga; así una toma de decisión arbitraria puede no ser rechazada en una comunidad más concienciada. En España, es de todos conocida las diferentes reacciones que han provocado por ejemplo las instalaciones de las diversas plantas de energía nuclear.

d) Grupos de presión; con ser una de las áreas político- social más importantes del sistema y que sería de una gran ayuda su posible valorización, es la más difícil por no estar estructurado formalmente. Sin embargo para lograr el éxito en la implantación de un proyecto es conveniente un sondeo para reconocer que grupos intervienen y que objetivos e intereses los mueven, así como el poder que puedan ejercer.

MEDIO AMBIENTE ECONOMICO

Este sistema es tratado en otro apartado del manual con amplitud y profundidad, aquí solo queremos resaltar la importancia que tiene en el proceso de producción el factor humano o población.

El sistema económico tiene como finalidad esencial satisfacer las necesidades humanas básicas: alimentación, vivienda, vestido, educación, administrando unos recursos que son escasos (incluídos también los que los economistas clásicos consideraban como bienes gratuitos: aire, agua). En este sistema a parte del estudio de las magnitudes económicas desglosadas por sectores de actividad y por regiones, según su importancia hay que analizar los recursos humanos, en su doble vertiente: trabajo y consumo, ya que la población es factor de producción en el proceso económico y generador-beneficiario de la demanda de bienes y servicios.

3.2. CONCIENCIA MEDIO-AMBIENTAL

Ante unos hechos reales de deterioro progresivo del medio físico (contaminación agua, aire, desforestación); del medio humano (alienación, anemia, abstención, violencia...) así como la propagación de los mismos a través de los medios de comunicación y el despertar del tercer mundo que ha hecho oir su voz y sus reivindicaciones todo ello ha motivado la creación de una conciencia ecológica tanto individual como de grupo e incluso institucional. Se han acuñado nuevos términos para explicar el conflic-

to y los cambios: ecocidio, calidad de vida, ecodesarrollo , etc. y se han movilizado numerosos políticos, científicos e intelectuales para estudiar el problema y buscar soluciones.

Juan Maestre en su libro "Sociedad y Medio Ambiente" hace una delimitación de estos conceptos que puede ayudar a comprender el discurso en que se mueve el tema medio ambiental.

3.2.1. Delimitación de conceptos.

CRECIMIENTO.- incremento de determinadas variables económicas que no implica necesariamente modificaciones en la estructura social y política del país.

Frecuentemente es la base para otro proceso más amplio. Se suele medir por Rpc. y PNN.

MODERNIZACION.- "proceso mediante el cual las sociedades atrasadas se adaptan a las pautas de comportamiento que prevalecen dentro de un tiempo y area determinada en las sociedades consideradas -- avanzadas, incorporando esas pautas a su modo de vida".

Es el proceso de aculturación "proceso de cambio que surge del contacto de grupos que participan de culturas distintas".

Este proceso depende de:

- Grado de diferencia cultural.
- Circunstancias e intensidad del contacto.
- Situaciones de dominio subordinación.
- Adaptabilidad, flexibilidad, receptividad.

Ejemplo de la colonización española a Iberoamérica.

Esta adaptación y asimilación de otra cultura con otros valores, necesidades, estímulos, etc. puede darse de dos maneras:

a) Con conceptos básicos económicos y políticos.
b) Sin " " " "

Normalmente no se da en una sociedad en todos sus sectores sino solo en un determinado sector, tanto social como geográfico (caso de Brasil, de Emiratos del Golfo Pérsico).

Efectos: se distorsiona el SISTEMA con desequilibrios irreversibles (grandes ciudades Brasilia, éxodo campo ciudad,...). Son gastos lujosos, estilo modo Asiático, que una parte de la población gasta con los recursos de todo el país. Es la acumulación de necesidades y aspiraciones insatisfechas.

DESARROLLO.- Serie deliberada-intencional-inducida de casos cuya finalidad estriba en que la sociedad a la que se refiere mejore en sí misma y no haciéndose igual a un paradigma.

POBREZA.- carencia o escasez de recursos naturales económicos en un país. Caso de Suiza, Japón, Holanda, etc.

Esto vemos no va unido a subdesarrollo o a ATRASO. Pero es un handicap para alcanzarlo.

ATRASO.- situación comparativa por la que un país está en un estado inferior de evolución social y tecnológico. No implica valorativamente y jerarquicamente que le superen. Caso de China, que con una estructura social y política diferente ha aventajado a otros países.

SUBDESARROLLO.- palabra equívoca, denigrada, rechazada... Se suele medir en Rpe, en tener o no industria.

"Existencia de unas estructuras sociales sin evolucionar o derivadas de una situación colonial y con una relación de dependencia política y sobre todo económica."

También por sus tasas de Natalidad que son reflejo de lo anterior.

Es una condición Histórica, resultado de muchos años, siglos de un determinado tipo de relaciones entre los países.

En los procesos de CAMBIO aparece nueva variable: FACTOR ECOLOGICO.

En la Conferencia Naciones Unidas sobre Medio Humano, Estocolmo 1972 aparecen nuevos conceptos.

ECODESARROLLO.- Tener en cuenta el potencial de cada región, uso adecuado y racional de los recursos. Tecnologías no destructoras. Respeto a los sistemas socio-culturales locales. Respeto a los Ecosistemas (que pueden abarcar varias fronteras políticas).

ECOCRISIS.- Ruptura del equilibrio ecológico por la degradación del Medio Ambiente con consecuencias nefastas para: la Naturaleza y el Ecosistema Humano: cultural, polítco, social, económico.

HABITAT.- escenario natural de la existencia humana.

MEDIO AMBIENTE HUMANO.- agregado de todas las condiciones e influencias externas que afectan a la vida y desarrollo de un individuo. Es su escenario natural y cultural. Es la herencia cultural y el ambiente o habitat transformado.

Son todas las modalidades de organización y funcionamiento de las sociedades humanas e incluye no sólo los factores que mejoran el nivel de vida, sino también la calidad de vida.

NIVEL DE VIDA.- grado de participación en el conjunto de bienes materiales. Suele ser medido por medio de indicadores de consumo.

El actual nivel de vida americano es imposible para toda la humanidad por el derroche de recursos que supone.

Es la posibilidad de usar y disfrutar ciertos bienes.

CONDICIONES DE VIDA.- conjunto de la participación en los bienes materiales e inmateriales. El contexto social de los individuos y su inserción en el.

MEDIO DE VIDA.- Es el entorno natural del hombre formado por: Tierra-Aire-Agua que ofrecen tres tipos de respuestas inmateriales: biológicas-artísticas-científicas.

Bienestar	=	Bienes materiales / Nivel de vida	+	Organización social / Condiciones de vida	+	Recursos / Medio de vida

El peso respectivo de cada uno de los componentes, se expresa por un coeficiente psicológico, calculado según la importancia que tenga para la población.

CALIDAD DE VIDA = Bienestar = B E N * PNB-Costes sociales * Impacto Ambiental.

Saint Mare — Samuelson Bienestar Económico Neto

" Termino que refleja el nivel de satisfacción de las aspiraciones y anhelos del individuo, que se traduce en último término en la realización del hombre y en el desarrollo integral del ser humano. Se relaciona con la vida creativa y abarca todos los factores vitales como el trabajo, la cultura, la religión, los deportes, el tiempo libre, sin confundirse con ninguno de ellos". Bariloche.

Medida de progreso ⟶ standard económico. Rp. ⟶ desarrollo integral.

Medida de espíritu ⟶

Francia. M. Giscard d'Estaing ⟶ Ministerio Calidad de Vida.

5 puntos: Protección recursos humanos.
Humanización de la vida urbana
Mejoras condiciones de trabajo.
Política de vacaciones.
Disminución de la burocracia.

3.2.2. Nacimiento y evolución del concepto Medio Ambiente.

Aparece como consecuencia de los siguientes hechos:

- Existencia de hechos reales de Degradación M.A.
- Propagación de los mismos a través de los medios de comunicación.
- Aparición de un conflicto social interior.
- Despertar del Tercer Mundo.
- Aparición de movimientos juveniles radicales ecológicos.

Evolución

a) Nace en 1960

b) Se institucionaliza en 1972. "Conferencia de Estocolmo" 5 Junio, Naciones Unidas., "El Medio Humano". En ella se establecen los principios de defensa del ser humano y de su ENTORNO.

c) Asimilación del Conflicto Ecológico: Respuesta ADAPTATIVA AL CONFLICTO. "La racionalidad tecnocrática acepta la existencia del conflicto social y pone solución a sus manifestaciones concretas, intenta una estrategia a largo plazo de resolución del conflicto. Su solución es TECNICA, pero una Tecnica al servicio del hombre".

Posturas adoptadas:

EL ESTADO (Capitalista Avanzado USA).

- Asume la lucha contra la degradación como uno de sus objetivos más importantes.
- Conforma una "determinada" conciencia a través de los mass-media.
- Se une a los Técnicos para dar la solución, pues esta existe.
- Producción de Discusiones, Convenios, Estudios Internacionales. Objetivo ⟶ Mantenimiento del sistema.
- Apertura nuevos Mercados ⟶ Exportación Tecnología.

LA EMPRESA: Adaptación al cambio, aceptando el RETO.

"El control de la Polución es Rentable". Creación de nuevos puestos de trabajo. Creación de nueva Tecnología exportable.

Literatura Ecológica.

Empresarios.

a) Pesimistas: Temor de que la pequeña y mediana empresa sea la más afectada y se produzca una concentración de capitales por la desaparición de las empresas marginales.

El incremento de los costes de control de la contaminación, la inversión en nuevas tecnologías, mayor rigor de la legislación, será un coste excesivo para ellas que a pesar de las ayudas que les preste la Administración, no podrán soportar.

b) Positivas: Adelantarse al reto, ser creativos, no dejar que los acontecimientos desborden el problema y ver en el "control de la contaminación" un paso decisivo para todos, pues la empresa forma parte de la comunidad, es su célula productiva y como veremos luego lo que es rentable para la sociedad lo es también para la Empresa y la apertura de nuevos mercados.

Sociologos-Urbanistas

Estudios espaciales, que analizan sobre todo las repercusiones de la degradación Medio Ambiental en las ciudades (contaminación atmosférica, ruido, agua, alimentación, etc) y su repercusión en la vida y desarrollo integral del hombre. En general:

- Los estudios americanos son prácticos, analizan casos concretos. Son poco profundos en el análisis de las causas.
- Los estudios europeos se caracterizan por el contrario por ser más teóricos y críticos, pero con pocas realizaciones concretas.

Tecnicos

- Manuales de Control de la Contaminación.
- Teorías Ecológicas de estudios de Ecosistemas concretos.

3.2.3. Opciones sociales. Movimientos ecologistas. Instituciones.

- Historia: A partir de una serie de hechos concretos:
- Tensión guerra fría
- Guerra de Vietnam.

- Lucha racial negra.
- Derechos cívicos.
- Bombas.
- Degradación masiva.
- Problemas ciudad.

y de un contínuo cambio de la sociedad Industrial que da lugar a una sociedad:

- Materialismo
- Alienación del trabajo
- Desempleo y falta de ilusión en la juventud.
- Desarrollo de los valores de competencia y rivalidad.
- Adquisición de un alto nivel de vida con islas de pobreza.
- Mayor nivel cultural
- Grandes problemas urbanos.

Aparecen unos movimientos Juveniles y RADICALES:

- U.S.A. (California)
- Francia. Mayo 68

Características:

- Rechazo del desarrollo capitalista industrial.
- Retorno a la Naturaleza.
- Revalorización del misticismo y religiones orientales.
- Lucha contra la contaminación.
- Condena de la guerra y de la carrera armamentista.
- Rechazo de las instituciones.
- Rechazo de la familia tradicional ⟶ comunas.

"Pasar" de la sociedad industrial.
"Hacer el amor y no la guerra".

Clase social: no pertenecen a una clase social concreta. Responden a:

- un lider: Martin Lutero King
- un hecho concreto: guerra de vietnam.
- un místico: "Guru marashi".

Suelen pertenecer más a las clases medias.

Tipología de los Grupos Ecologistas (según Allan Schaiberg).

TIPOLOGIA	CARACTERISTICAS	OBJETIVOS	MEDIOS
Cosmeticos	- Poco conocimiento problema M.A. - Moderados. - Unidos Instituciones.	Limpieza Naturaleza-Ciudad.	- Moderados e - Institucionales: recogidas cascos, papeles, propaganda, etc.

Cont.

TIPOLOGIA	CARACTERISTICAS	OBJETIVOS	MEDIOS
Mejoristas	- Conocen problemas. - Reciben apoyo Administ.	- Control del destino final de los subproductos del consumo urbano.	- Reciclaje. - Campañas anticontam. - Busqueda y crítica de responsables.
Reformistas	- Alto potencial ideológico - Cambio habitos de consumo. - Negocian con Administ.	- Reforma sistema social. - Modificar causas y producto final del "consumismo". - Adecuación necesidades sociales.	- Reforma económica. - Análisis coste/beneficio - Reciclaje. - Crítica responsables. - Concienciación del ciudadano. (Nader, Commoner...)
Radicales	- Radicales de izquierda - Tercermundistas. - Criticos imperialismo - No pactan - Forma de vida diferente: comunas. - Bajo nivel consumo.	- Reestructuración total sistema social, político y económico.	- Violencia verbal, escrita. - Acción ciudadana y política. - Movilización de la población implicada en los problemas.

Grupos ecologistas españoles:

- Características:
. Grupos numerosos pero de corta existencia: un año de consolidación, un año de actividad incesante y otro de decadencia.
. Su número de asociados oscila ± 500.

- Adscripción política:
. anarquistas o marxistas sin adscripción política.
. conexiones con grupos políticos: tanto el PSOE, como el PCE tienen grupos de militantes ecologistas que tratan de sensibilizar al partido con sus ideas, así como captar el "voto verde" del electorado.
. Ecologistas políticos: Federación de amigos de la Tierra (FAT) son autónomos de cualquier otro grupo político. Su objetivo parece encaminado a concienciar a los partidos políticos de izquierda.

- Objetivos:
. defender naturaleza.
. antinucleares
. defensa agricultura biológica
. energías blandas.
. defensores casos concretos.

Gurpos actuales: 3 grandes sectores:

- Coordinadora para la Defensa de las Aves. CODA. Tiene 29 unidades. Son conservacionistas.
- Coordinadora Antinuclear del Estado Español.
- Federación de Amigos de la Tierra (FAT). Engloba 24 grupos y tiene un amplio espectro de actividades.

ORGANISMOS OFICIALES

Naciones Unidas

- Agencia Internacional de la Energía Atómica. (Austria).
- FAO.- Organización para la Alimentación y la Agricultura (Roma).
- OMS.- Organización Mundial de la Salud. (Roma).
- OIT.- Organización Internacional del Trabajo. (Suiza).
- OMCI.- Organización Intergubernamental Consultiva sobre Navegación Marítima.
- OMM.- Organización Mundial Metereología.
- UNCTAD.- Conferencia Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (para problemas del Tercer Mundo.
- UNESCO.- Organización de Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura.
  Conferencia de Estocolmo sobre Medio Ambiente, 1972.- "Medio Ambiente Humano", que sentó las bases y principios de discusión sobre la evolución de población-problemas humanos-recursos escasos, etc. Producto de esta Conferencia:
- PNUMA.- Programa de Naciones Unidas para Medio Ambiente. (Nairobi).
  Objetivo: mantener equilibrio ecológico y mejorar la calidad de vida.
  Centros regionales dependientes:
- CIFCA.- Centro Internacional de Fomación de Ciencias Ambientales. (Madrid).
- ONC.- Organizaciones no gubernamentales. Cada vez más importantes, asisten a reuniones internacionales y tienen oficina en el propio edificio de Naciones Unidas.

Organizaciones Internacionales Europeas.

- Consejo Europa: Comités especializados para { Medio Ambiente. Control Sanitario. Alimentos.
- Comunidad Económica Europea: Servicio del Medio Ambiente y protección de Consumidores.
- OTAN—— CDSM. Comité para Desafios de la Sociedad Moderna.

ENTIDADES PRIVADAS:

- Asociación Internacional Jabón y Detergentes.
- Asociación Internacional de Métodos de Análisis y Pesticidas.
- Asociación Internacional de Protección contra Radiaciones.
- Asociación Internacional de Investigación sobre Cancer.
- Asociación Internacional de Contaminación Atmosférica.
- Asociación Diversa de Defensa de Fauna y Flora.
- IES. Instituto Ciencias del Medio Ambiente norteamericano.
- Club Roma.- MIT. Instituto de Tecnología de Massachussets.
- UICN.- Unión Internacional Conservación de la Naturaleza. Ligado a la UNESCO (Acción en el Coto Doñana).

ASOCIACIONES Y MOVIMIENTOS ECOLOGISTAS MUNDIALES Y SU EFICACIA.

EE.UU.: Movimiento de consumidores.- Nader. Control de muchos alimentos.
Movimiento de la Naturaleza.- impider. Olimpiadas de Invierno en Colorado.

Inglaterra.: National Trust. 1/2 millón de asociados, cuantioso patrimonio, el tercer propietario funciona como capitalista, no recibe asignación del Estado, no actua como negocio sino para subvencionar sus actividades.

Las asociaciones de diversa índole tienen por características su EFICACIA.

1864 - Primera reglamentación contra la contaminación atmosférica.
Control y reconversión del Támesis (entre 1955-1979).

Centrales Nucleares: pequeño tamaño, bastantes sistemas de seguridad, medidas de orden psicológico y social.

Francia.: verdadero boom del ecologismo que ha tomado cariz político. René Dumont consiguió 337.000 votos, (exito en las elecciones de 1977) creación de un Ministerio de Medio Ambiente por Giscard.

Informes del Club de Roma.

Club de Roma: "universidad universal e invisible"
Fundador: Aurelio Pecce en 1.968
Formada: Centenar científicos.

Objetivo: Proyecto sobre la condición humana
- Degradación del Medio Ambiente.
- Pobreza urbana/rural.
- Perdida fe en instituciones
- Alienación
- Paro
- Inflacción.

Base financiera
- Instituto Battelle
- Otras entidades
  - Wolswagen
  - Ford

1er Informe: "Los límites al crecimiento". Trabajo del MIT dirigido por Meadows. 1972
Basado en la dinámica de sistemas.
Variables básicas: Población-Producción agrícola-Recursos-Contaminación-Producción Industrial.
Tesis: El colapso se produciría a causa del agotamiento de los recursos no renovables. (Figura 8.3.1).

En el sistema económico mundial las dos curvas de crecimiento positivo son la población y el capital en la industria, con crecimientos exponenciales infinito. En un sistema finito tiene que haber frenos que detengan este crecimiento. Estos frenos son: recursos agrícolas y la producción industrial cuando la capacidad de crecimiento del sistema alcanza su límite. Entonces la población comienza a descender. Es la tendencia a un equilibrio.

Si se espera a que se produzca el equilibrio natural se producirían una serie de desequilibrios que serían irreversibles.

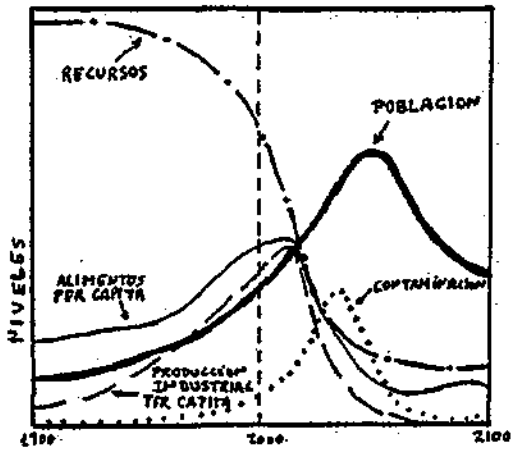


FIGURA 8.3.1.

EVOLUCION "ESPONTANEA" PREVISIBLE DE LAS VARIABLES BASICAS DEL SISTEMA MUNDIAL SEGUN EL MODELO "WORLD 3".

La solución ⟶ asociarse con la Naturaleza y pensar antes los factores desequilibrantes.

Medidas correctoras (Equivocadas en su proyección de tiempo):

- Estabilizar Población = año 1.975
- Capital Industrial ⟶ crecer hasta 1.990
- Calculo de necesidades población ⟶ educación, salud,.... no bienes materiales.
- Reducir contaminación ⟶ 1/4 de 1.970
- Prioridad para producir alimentos para TODOS.

2º Informe: "La Humanidad ante la encrucijada". 1924. Mesarovie y Pestel.

Tesis: Crecimiento orgánico frente a la irracionalidad del crecimiento indiferenciado.

Objetivo: regionalización del mundo y su especialización para lograr el funcionamiento de un sistema mundial integrado.

Variables: Población - Medio Ambiente - Alimentos - Energía - Materias Primas. Tienen en cuenta la interrelación entre ellas y también la de los subsistemas de las diferentes regiones (diversidad de modos políticos-económicos-culturales).

Conclusiones: No habrá colapso mundial, pero si catástrofes o colapsos a nivel regional con repercusión en todo el mundo.

Necesidad del crecimiento orgánico.

Cooperación vs. Enfrentamiento.

Las crisis actuales no son pasajeras y requieren una planificación a largo plazo.

- Necesidad de un marco internacional de cooperación.

3er Informe: "Reestructuración del ORDEN INTERNACIONAL". Tinbergen. 1974.

Objetivo: "nuevo orden recomendable-estadistàs y grupos sociales".

Identificación de problemas: crecimiento demográfico
falta de alimentos.
carrera armamentista
proceso urganista
degradación del Medio Ambiente {Océanos / Atmósfera.
problema energético.
multinacionales
debilidad organismos internacionales.

Plan de Acción que se acordó por las Naciones Unidas con programa de ayuda al Tercer Mundo.

Carta de Derechos y Deberes Económicos de los Estados.

3.2.4. Crítica: la lucha contra la contaminación como ideología.

La crítica al discurso ambiental procede en la mayoría de los casos de los escritos de Marcuse. Autores como Baudrillard, Lapassade, se muestran escépticos ante esta nueva conciencia ecológica, extendida a todos los movimientos sociales y asumida por los gobiernos. "El movimiento ecológico está siendo digerido" Marcuse.

Alfonso Pérez Cegote en su libro "Medio Ambiente e Ideología en el Capitalismo Avanzado" hace un análisis crítico de todos los niveles sociales que están implicados y los juegos de poder que actuan en ellos.

Los puntos esenciales de esta crítica son los siguientes:

- La formación de la "conciencia ecológica" es artificial y dirigida por los mass-media (aquello que impide absolutamente la respuesta Baudrillard). Estos mass media son utilizados por el poder como instrumento de control de las masas.

- El poder político asume el problema ecológico para lograr la reproducción a largo plazo del sistema social y político. El medio que utiliza es la Técnica. Todo problema es cuantificable y medible, es la "cosificación de la naturaleza".

- Es una fórmula de "cohesión social" y mantenimiento del orden, cumple una función integradora, al desaparecer las desigualdades sociales, pues todos los hombres son iguales ante un peligro común. Se desdibujan las relaciones sociales de dominación.

- Aparición de un nuevo sector económico. La lucha contra la contaminación permite la extensión del mundo de la mercancía, en la fase última del capitalismo.

- En la polémica de la problemática ambiental lo que realmente está en juego es la futura división internacional del trabajo.

Tesis de Amin. Centro: actividades de trabajo muy cualificado como la electrónica. Periferia: actividades industriales contaminantes.

Friedman: "cuando importamos acero del Japón estamos también importando aire y agua limpios".

4.1. LA RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA EMPRESA.

La empresa como organización social se mueve en un entorno cambiante. Históricamente comenzó con una forma y unos objetivos al comienzo del capitalismo que fueron cambiando a medida que recibía imputs o estímulos que la obligaban a ello en un proceso contínuo de adaptación.

En los cuadros siguientes podemos ver esta evolución en 3 etapas según sus objetivos las presiones que recibía de la sociedad.

A) Objetivo: el beneficio "teoría de los accionistas".

- Sujetos:

Accionistas: promotores de la idea.
asumen riesgo
exigen contrapartida Beneficio.

Empleados: pieza de la maquinaria.
fuerza de trabajo
salario mínimo.

Consumidores: producto razonable que satisfaga necesidades del mercado.

Comunidad: crecimiento económico.
creación puestos de Trabajo.

Medio Ambiente: "el gran ausente"
recursos ilimitados
el desarrollo justifica la contaminación
desprecio valores culturales y sociales.

B) Objetivo: la supervivencia "teoría de los partícipes". Se rompe la dialéctica "capital-trabajo" a partir de la Segunda Guerra Mundial. La empresa para supervivir frente a la presiónsocial tiene que tomar conciencia de su responsabilidad social y dar cabida a todos los sujetos que participan en el proceso de producción, desde las materias primas al producto acabado.

- Sujetos: proveedores y subcontratistas.
mandos y empleados.
Estado
Acreedores
Accionistas.

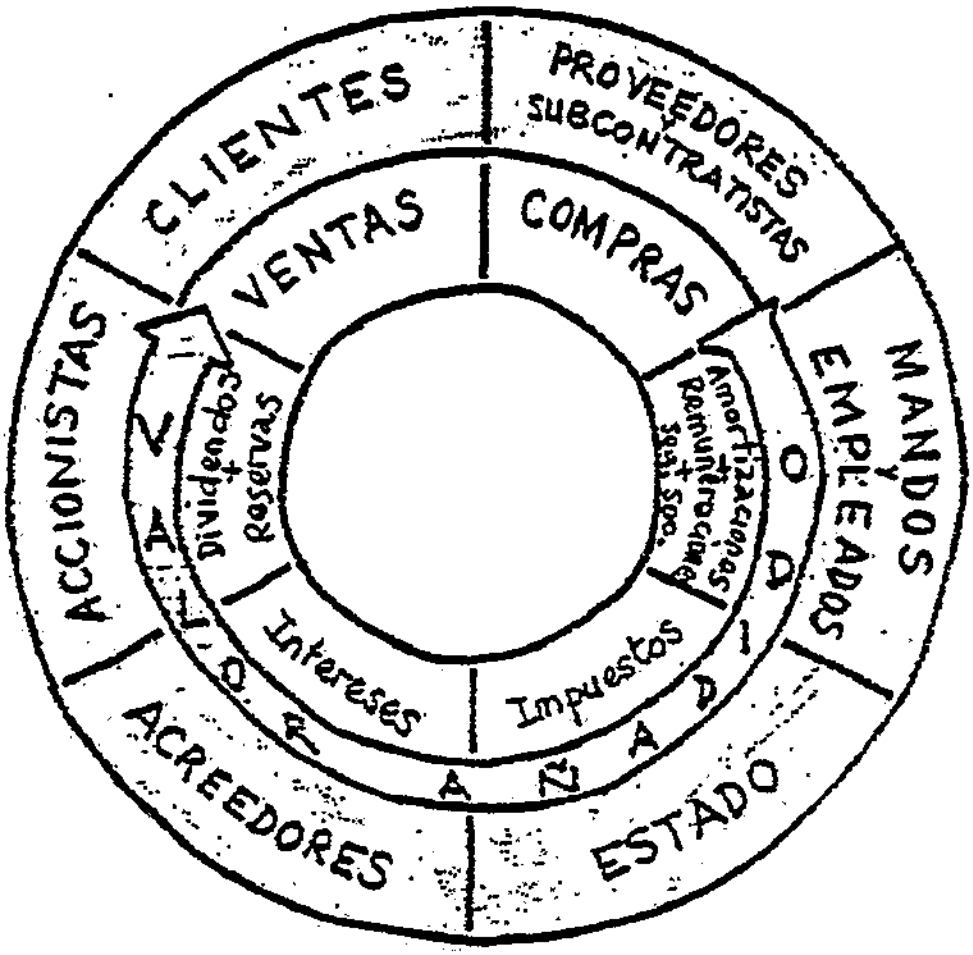
C) Objetivo: crecimiento sostenido.

El entorno presiona con nuevas exigencias y se revela ante los impactos negativos de: salarios mínimos, productos inducidos, contaminación, alienación trabajo, explotación naturaleza, etc. y demanda que la Empresa contribuya como "ciudadana" a la solución de los problemas de la comunidad.

- Sujetos: Toda la sociedad y su ENTORNO.

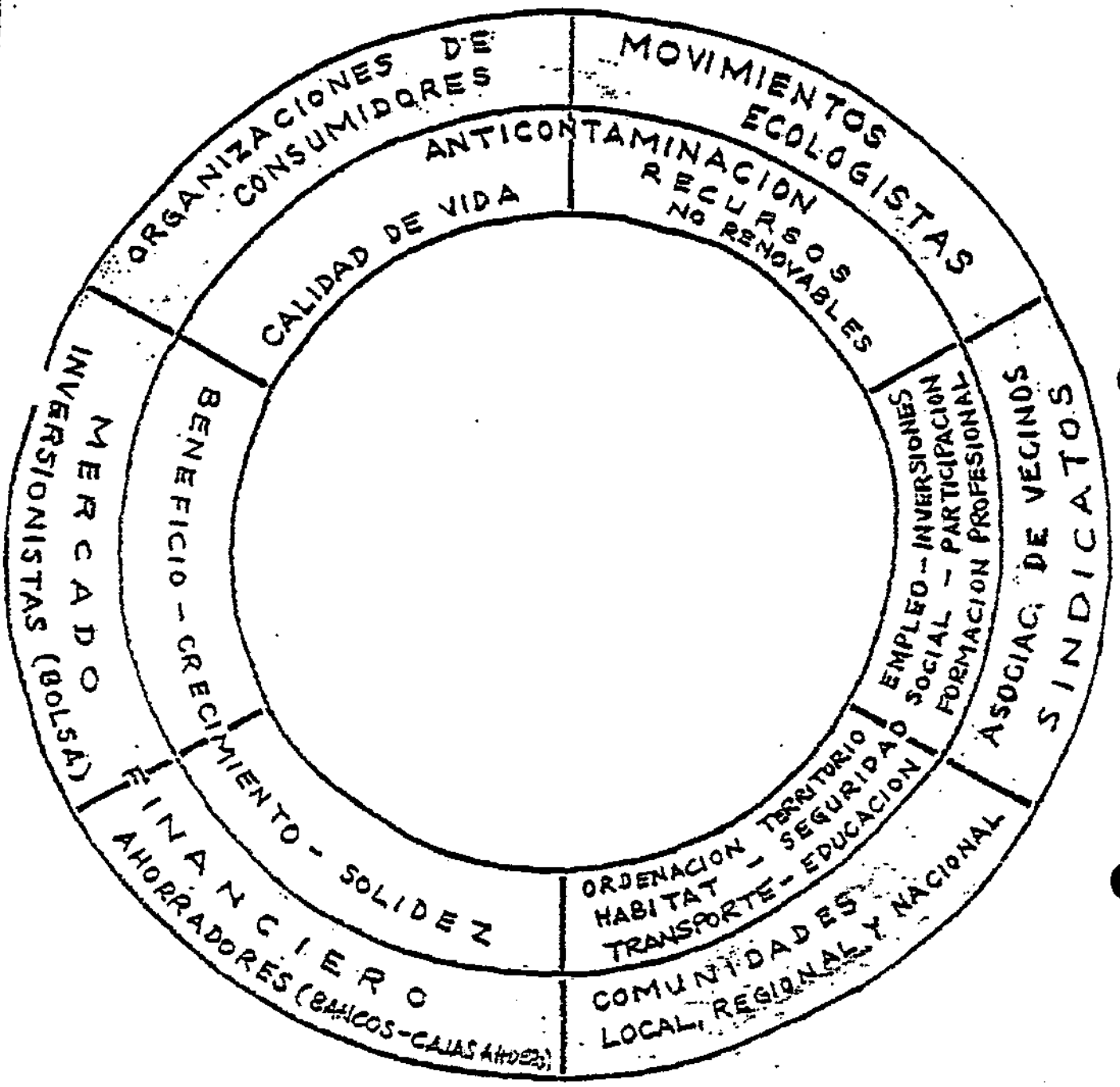
RESPONSABILIDAD PRIMARIA EMPRESARIAL

* Materia: Función básica o cometido
* Sujetos : Accionistas y empleados
* Objetivo: El beneficio

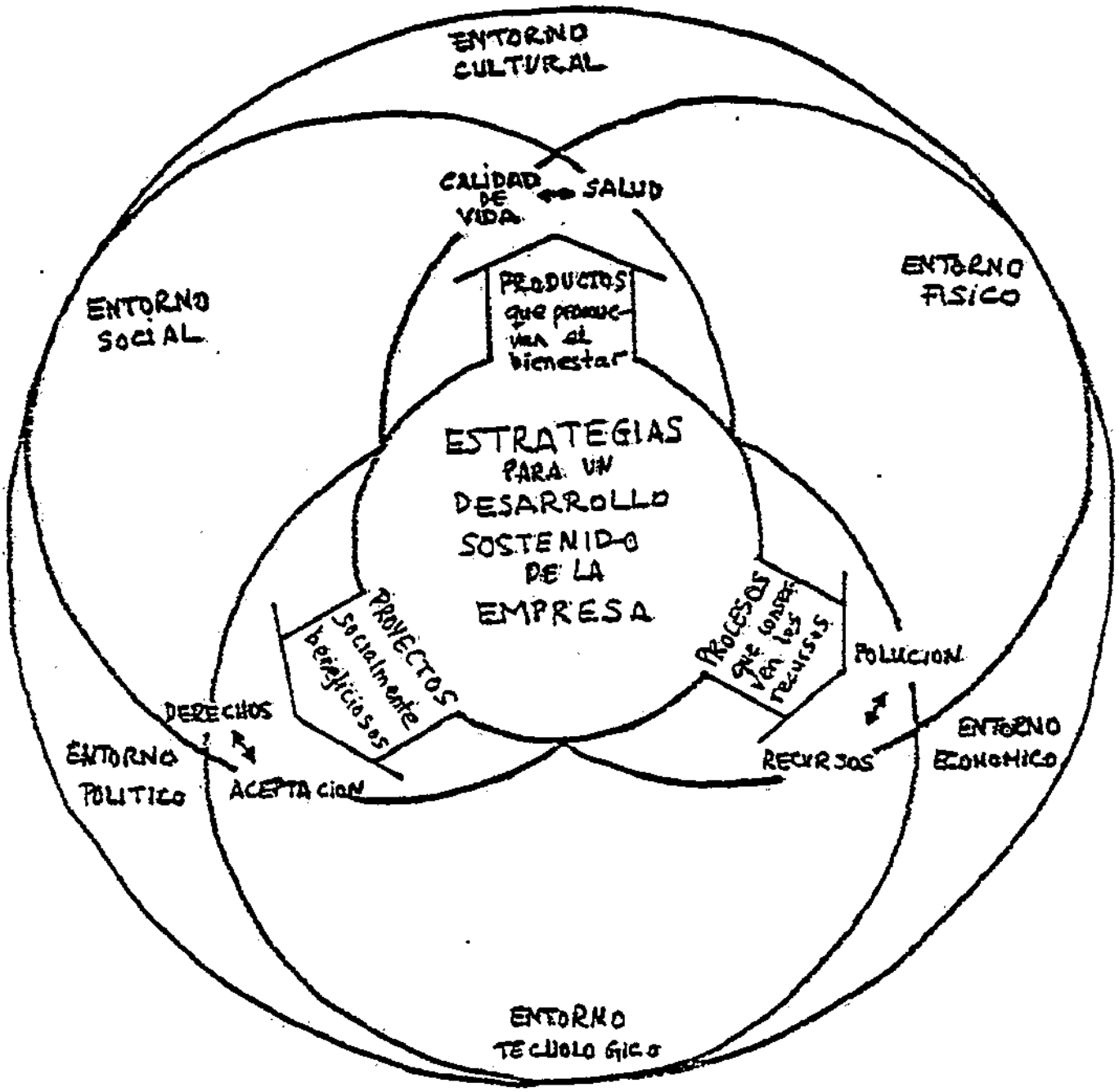


RESPONSABILIDAD SECUNDARIA

* Materia: Efectos inmediatos de la ejecución funciones básicas
* Sujetos: "Partícipes" en relación contractual con la empresa.
* Objetivo: La supervivencia



RESPONSABILIDAD TERCIARIA:
* Materia: Contribución a la resolución grandes problemas públicos
* Sujetos: La comunidad
* Objetivo: El crecimiento sostenido



INTERRELACION DE LAS DEMANDAS DEL ENTORNO Y LAS ESTRATEGIAS EMPRESARIALES

Tendencias de solución al reto Recursos - Contaminación

* Ordenación del territorio y conservación
* Principio "el que contamine pague"
* Esquemas de reciclaje
* Intercambio de residuos (Banco de datos)
* Lucha contra el despilfarro → Conservación
* Tecnologías blandas, limpias o sin desperdicios
* Recursos renovables
* Miniaturización
* Exploración (oceanos, zonas tropicales)
* Sustitución de materias primas (p.e. síntesis)

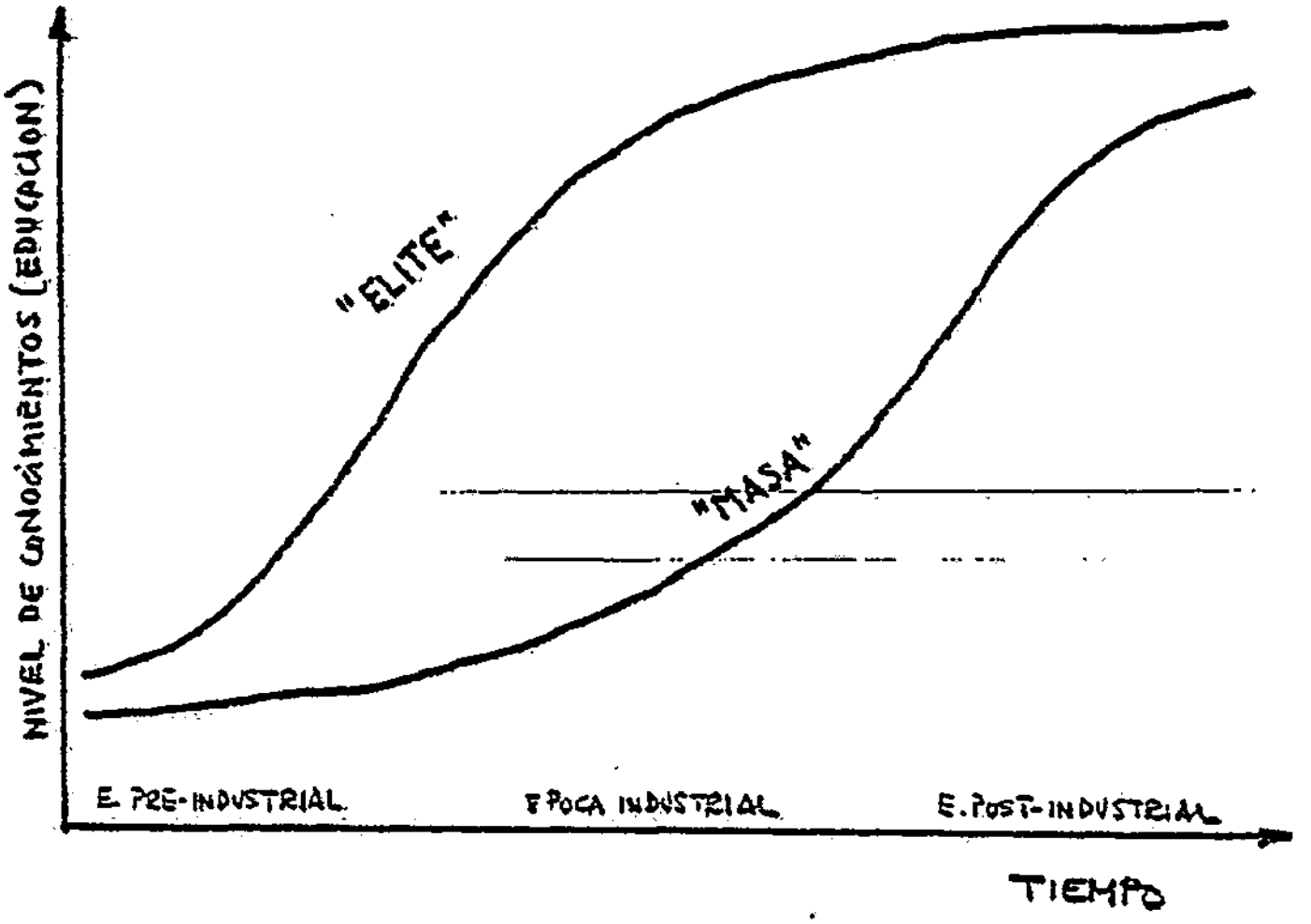
Tendencias de solución al reto Salud - Calidad de vida

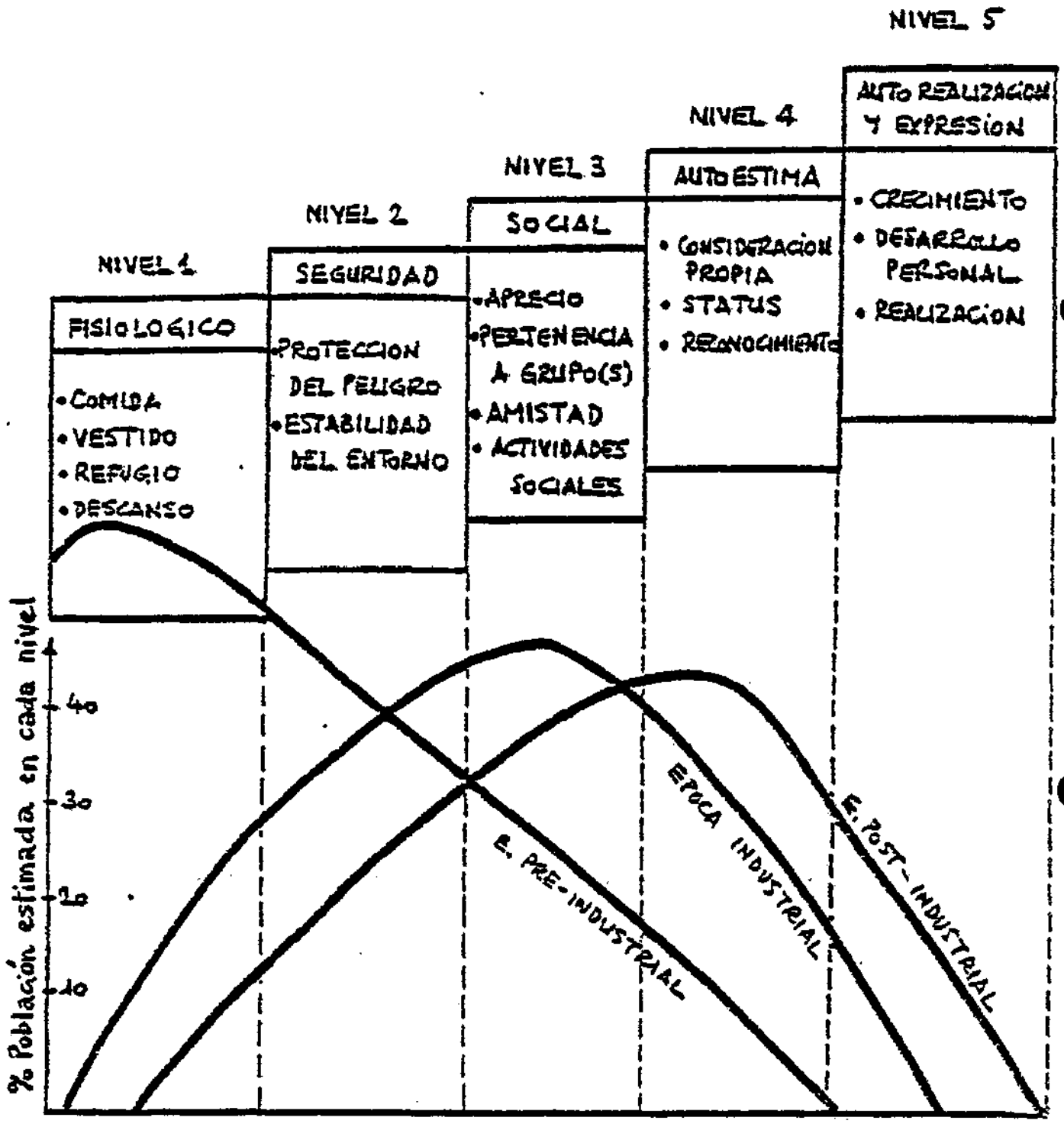
* Elevación de los standards de calidad ambiental
* Extensión a nuevas areas (p.e. ruido, estetica)
* Directrices de responsabilidad de los productos
* Control de sustancias tóxicas
* Extensión del movimiento de los consumidores
* Transporte y manejo de materias peligrosas
* Control de etiquetados y de aditivos
* Seguridad e higiene en el trabajo
* Dimensión humana de vida:
    - Sociedad "convivencial"
    - Instituciones a escala humana
    - Urbanismo
    - Sistemas educativos, culturales y recreativos no alienantes

Tendencias de Solución al reto Derechos - Aceptación

* Participación y descentralización
* Extensión de movimientos ecologistas
  N → S , jovenes → viejos , apoliticos → politicos
  energía nuclear → servicios
* Sondeos sistematicos de la opinión pública
  ("Barometro europeo", Encuestas C.I.S.)
* Legislación sobre participación pública en grandes proyectos.
* Balance social de las Empresas
  Comités de covigilancia - Consejo de Administración
* Asociaciones de vecinos. Movimientos ciudadanos
* Participación de interesados en elección de tecnología:
  - Cambio de tecnología "dura" → "blanda"
  - "Lo pequeño es hermoso"
* Evaluaciones del impacto medio ambiental.
* Dimensión humana del trabajo → Implicación
  (Enriquecimiento de tareas)

EVOLUCION DEL INCREMENTO DE EDUCACION





JERARQUIA DE NECESIDADES Y MOTIVACIONES EN EL TRABAJO (SIGUIENDO A MASLOW)

5.1. EL IMPACTO SOCIOLOGICO. DEFINICION Y CARACTERISTICAS.

En general el impacto ambiental es una alteración en el medio o en algunos de sus componentes producida por una acción o actividad humana. En esta definición se abarcan dos grandes áreas, el medio natural y el medio social.

El impacto en el medio social, objeto de nuestro trabajo, es un área que ha sido muy poco estudiada y valorada en las E.I.A.

Definiremos el impacto sociológico como toda acción o actividad humana que por sus características físicas introduzca una modificación importante en el medio ambiente humano, localizado en un área determinada, en un periodo de tiempo concreto y sobre unos agentes afectados.

Acción o actividad humana: Es preciso conocer la clase de proyecto, con todas sus características y tipología de sus acciones físicas presentes y futuras que van a provocar una acción sobre el medio.

En el presente estudio la relación de proyectos, actividades, leyes... que requieren E.I.A. en España ha quedado establecida por el informe presentado por A.D.A.R.C.

Impacto o modificación importante. Para que una modificación sobre el entorno sea tenida en cuenta y requiera E.I.A. hace falta que su acción sea de tal embergadura que suponga una alteración fuerte y profunda del medio, bien por sus características, bien por las características del área geográfica o de la comunidad que recibe el impacto.

No todos los impactos son iguales ni de la misma intensidad. Es preciso distinguir entre:

- Directos/indirectos: según afecten al medio provocando de inmediato una acción negativa o positiva, o bien se produzan como efecto inducido de una acción directa.

- Irreversibles/reversibles: en muchos casos esto será difícil de delimitar en el área de lo social. Tanto en el medio natural como en el social existen recursos no renovables, cuya pérdida puede causar a la naturaleza y a la sociedad efectos muchas veces imprevisibles y en cadena. Su valoración en términos económicos se hace imposible dado su carácter irrecuperable.

- Local o extendida: puede estar localizado en una comunidad pequeña y afectar a muy pocos individuos aunque quizá de una manera muy intensa o a muchas comunidades y el impacto difuminarse sin alcanzar gran importancia. Así un complejo industrial localizado en una comunidad pequeña, casi cerrada en sus comunicaciones, con pocas infraestructuras pero con una gran riqueza cultural, se verá mucho más afectada que si ese complejo industrial se sitúa cerca de una zona ya industrializada y que puede ofrecer servicios, equiparamientos y mano de obra, sin ver afectada su estructura económico-social.

Por último habría que considerar si son a corto o largo plazo, inevitables o probables, su efecto acumultativo, si se conoce con exactitud o no el riesgo.

Medio ambiente humano o social.

A efectos de delimitar posteriormente el campo de los factores sociales para la E.I.A. el concepto

de Medio Ambiente Humano es el más importante de definir y aclarar.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano celebrada en Estocolmo en 1972, se proclamó el ambiente o habitat mundial del hombre como una cuestión de interés constante para todos los países del mundo. El programa que allí se marcó fué hecho bajo la optica de ver el mundo como un navío espacial que había que saber dirigir y nunca como un botín que expropiar.

En esta conferencia se dijo: "El hombre es creador y moldeador de su Medio Ambiente que le hace y lo hace. El Medio Ambiente le da las substancias físicas y también la oportunidad para que se desarrolle física y culturalmente... Ambos aspectos del medio ambiente del hombre, el natural y el creado por el hombre, son esenciales en el bienestar del ser humano".

El hombre, como grupo humano, forma parte del ecosistema físico en el que vive. En su relación con ese medio físico y en su interacción constante con él obtiene los medios más adecuados para su subsistencia: casa, espacio, vestido y alimento. Para logar ésto, a través del tiempo, las comunidades humanas se han organizado y a través de una tecnología han dispuesto sistemáticamente de los recursos naturales.

En esta interacción constante el hombre se adapta de contínuo a la naturaleza y busca un equilibrio que siempre es inestable; al hacerlo provoca dos acciones: a) introduce modificaciones físicas en la naturaleza; b) se organiza y crea un medio o habitat que no es ya el natural sino otro diferente que le permite vivir y adaptarse a las situaciones adversas que encuentra en la naturaleza.

El Medio Social es, según ésto, la forma de organización de los hombres, en su interrelación con el medio natural que les rodea o envuelve al objeto de satisfacer sus necesidades.

En este sentido, tan ecológico o medio ambiental resulta un paisaje, como una organización sociopolítica, la familia, la cultura, etc.

La sociedad, como organización, no es un sistema cerrado y estático, sino por el contrario abierto y dinámico, en continua evolución y adaptación al cambio, pero también tiene unos límites y quizá ahí radica el problema de la profundidad del impacto que se le provoque; si su potencial es capaz de absorberle, no se producirá una ruptura del sistema, ni conflicto entre sus partes. Si el impacto es profundo o bien la parte de la sociedad afectada no está preparada para dicho impacto se romperá el equilibrio ecológico de la comunidad afectada, pudiendo producirse unos efectos inducidos del impacto directo realizado, que de lugar a daños irreversibles.

Más adelante, en la introducción histórica al estudio de los factores sociales, se analizará ésto más en profundidad.

Area geográfica determinada.

La determinación del área de estudio es un problema circular. Es necesario conocer donde son significativos los impactos sociales esperados antes de comenzar a recoger datos, porque es una pérdida de tiempo y dinero hacerlo allí donde no va a ocurrir ningún cambio. Pero no es posible conocer qué comunidad estará afectada antes de saber qué impactos son los que van a darse, con qué profundidad y en qué medida.

Sin embargo se pueden establecer unos criterios para la delimitación de la zona que permita con un mínimo de seguridad conocerla.

a) Municipios o áreas jurisdicionales que son los receptores más directos de los beneficios o daños del impacto.

b) Censos de población que permitan conocer la densidad de cada zona.

c) Variables socio-económicas básicas y sus relaciones.

d) Accesos entre municipios y con la ciudad o polo mayor de atracción.

e) Posibilidad de recopilar datos secundarios.

La determinación de estas áreas nos permitirá investigar los factores sociales más significativos en cada una de ellas, así como los posibles indicadores que permitan su posterior evaluación.

Periodo de tiempo concreto.

Esto no quiere decir que el impacto deba estudiarse en una investigación estática y sólo descriptiva; por el contrario, el análisis sociológico es válido en la medida que es dinámico y estudia los problemas sociales en su evolución. El impacto social provocado por un proyecto se produce en un período concreto y es a eso a lo que nos referimos.

Existe un sistema social antes de realizarse la acción, otro sistema durante la acción, que trata de adaptarse al cambio producido y por último un sistema diferente que será el resultado de la realización del proyecto.

El período de tiempo está compuesto de tres fases: antes, durante y después del proyecto. El impacto social debe ser estudiado y evaluado con referencia a esa dinámica del sistema social.

Agentes

El impacto social no se produce de una forma abstracta. La sociedad, la comunidad está compuesta por grupos de personas que tienen unas necesidades y que hacen unas demandas diferentes al medio y en última instancia es el individuo el que se ve afectado por las modificaciones que se producen.

En el análisis sociológico, la unidad de estudio es el grupo y sus relaciones.

Cuando un ente privado o público va a realizar un proyecto, el impacto que pueda provocar tendrá una incidencia diferente según sean los grupos sociales a que afecte.

La tipología de estos grupos difiere según los criterios de partida.

a) En relación al área afectada.

b) En relación al proyecto.

a) En relación al área afectada:

- Comunidad regional
- Comunidad nacional
- Comunidad internacional
- Comunidad futura.

Comunidad local.- Es la población que ocupa espacialmente el ámbito del impacto directo del proyecto y que como ya hemos hecho referencia puede coincidir con el Municipio. Es allí donde radicarán los diferentes puestos de trabajo (en caso de que se trate de una empresa u otra concreta) y es allí donde se van a recibir con más incidencia los impactos positivos o negativos.

Comunidad regional.- Corresponde a las diversas regiones y nacionalidades del Estado Español. Dada la situación actual de las autonomías es sumamente importante la relación del proyecto con su incidencia en cada región y el estudio del impacto desde el punto de vista del desarrollo de cada una y los posibles desequilibrios que pueda crear.

Comunidad internacional.- La necesidad de considerar las relaciones con el área de la Comunidad Económica Europea, de cara a una futura y próxima integración, hace necesario que todos los proyectos, obras, leyes, etc., que requieren E.I.A., tengan presente su relación y repercusión con las diferentes comunidades de los países miembros.

Comunidad futura.- Esta comunidad no es una utopía sino algo que debemos tener muy presente, pues los resultados de las acciones que tomamos ahora están encaminadas a lograr un mejor habitat para nuestros hijos. La herencia que les dejemos, cultural, social, histórica, lingüística, belleza del entorno, etc., depende de nuestras acciones actuales. Muchos valores podemos destruirlos y ser imposible su recuperación, no sólo en el terreno físico de los recursos no renovables sino también en el campo de lo social, en el que tenemos conjuntos arquitectónicos, históricos, arqueológicos, valores culturales, espirituales, etc., que son únicos e irremplazables.

b) En relación al proyecto:

De puertas adentro - Trabajadores
Accionistas
Dirección/Estado

De puertas afuera - Proveedores
Clientes
Consumidores
Asociaciones de Vecinos
Grupos ecologistas
Otros.

El punto de partida para analizar los agentes en relación al proyecto es el concepto de "responsabilidad social" de toda empresa privada o estatal.

Toda obra, proyecto, empresa, etc., pública o privada es por esencia una organización social, cuya finalidad es movilizar y organizar una serie de recursos ajenos, recursos naturales, capital y trabajo; para producir bienes y servicios que satisfagan necesidades colectivas, generando un valor añadido en el proceso, que distribuye entre diversos grupos sociales.

Cuando se realiza una actividad, quedan implicados numerosos grupos humanos, y se establecen unas relaciones internas o externas según estos grupos sean perceptores de la riqueza generada o destinatarios de un proceso productivo. Ante estos grupos el proyecto tiene que cumplir con una responsabilidad social que puede ser de dos tipos: legal o de obligado cumplimiento de la normativa vigente y de tipo moral que consiste en la presión de la sociedad en su conjunto y de los diversos grupos interesados o afectados directa o indirectamente por el proyecto. Sus exigencias no suelen estar claramente explicitadas. Puesto que en los informes de E.I.A. es el Estado como administrador del bien social, el que exige que el promotor conozca e informe sobre todo impacto que pueda afectar a la sociedad, exigirá que cuanto se realice redunde en beneficio de la colectividad y que a lo largo de la realización del mismo se identifiquen cada agente, sus demandas, sus derechos y fundamentalmente en que medida se benefician o perjudican con el proyecto y que tipo de conflicto pueden sufrir entre los diversos intereses.

Los agentes de "puertas adentro" tienen poca importancia cuando de lo que se trata es de dar un informe en vista a tomar una decisión de su realización, modificación o supresión. Por el contrario, adquieren interés y son significativos para la guía, vigilancia y posterior utilización del proyecto.

Los trabajadores, junto a los accionistas y a los directivos son los partícipes y ejecutores de la empresa. Cada uno de ellos realiza funciones diferentes y tienen unos derechos y unas obligaciones que es preciso cumplir para la supervivencia de la empresa. Unos y otros demandarán una eficacia en la obtención de beneficios sean económicos, sociales o de servicios. Sus intereses serán muchas veces contrapuestos y darán origen a conflictos.

Los agentes de "puertas afuera" son todos los grupos de ciudadanos que con sus necesidades demandan un producto (energía, industria, leyes...) y exigen que ese producto les dé una utilidad social y sea equitativamente distribuído. Entre estos grupos, con intereses muhcas veces en conflicto, se producen problemas y dificultades en la toma de decisiones.

La fuente del conflicto es unas veces la lucha económica entre clases sociales, otras es la lucha por el poder.

Cada proyecto deberá tener en cuenta estos grupos que cada día van cobrando más fuerza en los países desarrollados de libre mercado.

<u>Demandas o áreas de interés de los diversos agentes:</u>

- <u>Comunidad Nacional</u>
  Utilidad social del producto, servicio o ley.
  Posición frente a directrices de política social, económica o industrial.
  Apertura al mercado internacional.
  Contribución a la mejor utilización de recursos naturales.
  Incidencia en la calidad ambiental.
  Rentabilidad socio-económica.
  Información, participación y control.

- <u>Comunidad Regional</u>
  Localización espacial
  Contribución al empleo regional.

Contribución a actividades productivas regionales.
Contribución a la formación de capital.
Incidencia sobre las Haciendas regionales.
Incidencia en la calidad ambiental.
Información y participación.

- Comunidad Local.

Localización espacial
Contribución al empleo local.
Relaciones sociales.
Incidencia en el proceso productivo.
Incidencia sobre equipamientos locales.
Incidencia sobre infraestructuras.
Incidencia sobre Haciendas locales.
Incidencia sobre calidad ambiental.
Incidencia sobre modos de vida.
Información y participación.

- Comunidad Internacional.

Cumplimientos y normas internacionales.
Utilización de recursos.
Relaciones económicas.
Relaciones específicas con la C.E.E. y países que la integran.

- Comunidad futura.

Utilización de recursos no renovables.
Deterioro medio-ambiental.
Modos de vida (cultural, social, político-ideológico).

- Consumidores.

- El producto y sus características.
- Análisis del mercado en el que el producto es vendido.
- Publicidad y venta.
- Control y participación.

- Ecologistas.

- Defensa de la naturaleza frente a contaminación, urbanizaciones mal emplazadas, etc.
- Limpieza de la ciudad (aire, agua, residuos...)
- Ordenación del territorio.
- Reciclado.
- Tecnologías blandas.
- Disminución y control del consumo.

- Asociaciones de vecinos.

- Viviendas.
- Equipamientos.
- Areas de recreo y zonas verdes.
- Infraestructuras.
- Defensa del paisaje urbano/rural.

- Trabajadores.
  - Estabilidad en el empleo.
  - Remuneraciones.
  - Seguridad-higiene.
  - Ventajas sociales.
  - Relaciones laborales.
  - Información y participación.

5.2. METODOLOGIAS DE EVALUACION DEL IMPACTO SOCIAL.

Hasta ahora la mayoria de evaluaciones de impacto ambiental que se han realizado en otros países han incluído siempre algunas variables socio-económicas, pero donde realmente hacían incapié era en las variables físicas, psicológicas y ecológicas, ya que se consideraban más importantes por su volúmen y por sus efectos.

Sin embargo en estos últimos años se ha producido un cambio notable en el enfoque de las legislaciones de los diferentes países y se ha introducido la variable social al mismo nivel que las variables físicas. Esto puede ser debido al cambio y a la crisis global que afecta a todos los países. No hace falta insistir en las transformaciones sociales que convulsionan el mundo y las nuevas preocupaciones y demandas de la población que obligan a un replanteo del modelo occidental de desarrollo y se pase a un nuevo modelo o ECODESARROLLO en el que se tenga en cuenta los valores cualitativos de la vida humana y no sólo del crecimiento económico.

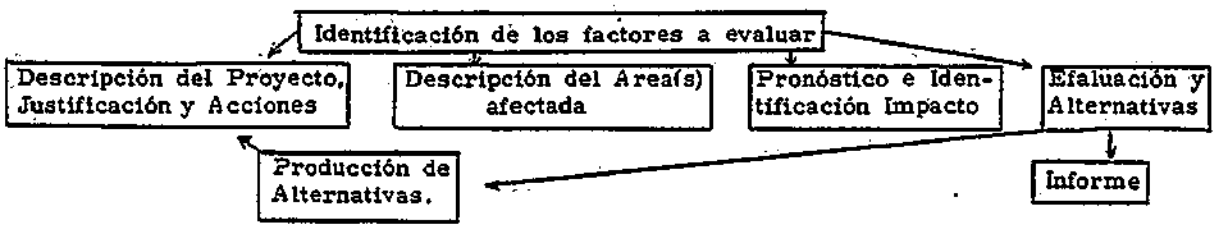
Los movimientos ciudadanos (ecologistas, organizaciones de consumidores, etc) se convierten en fuertes grupos de presión que es preciso tener en cuenta para el éxito de cualquier gran proyecto.

Los estudios que se vienen realizando de evaluación de impacto ambiental suelen ser muy complejos y costosos. Realmente, si se quiere conocer todas las implicaciones presentes y futuras de una acción ley o proyecto supondría unos estudios tremendamente costosos y de una duración en tiempo excesiva para la finalidad que se pretende, ya que lo que se busca son unos informes claros y concretos, en un lenguaje sencillo, que pueda ser comprendido por todo el público al que se ha de informar y presentando una serie de alternativas valoradas.

Es, quizá, por todo esto por lo que las variables que se han incluido de lo social han sido pocas y concretas (demográficas, culturales e históricas, relativas al paisaje, etc.), sin tener en cuenta los efectos sociales inducidos de los impactos físicos directos.

5.2.1. Tareas fundamentales a desarrollar en una metodología de evaluación de impacto social.

Las metodologías de evaluación del impacto social se insertan en todo el proceso seguido para un estudio completo. Resumiendo las tareas principales de estos estudios, presentamos el cuadro siguiente:



En relación a lo social sería:

A) Descripción.

- Describir todos los componenetes del proyecto que puedan tener un efecto sobre el bienestar humano.

- Describir el entorno social dinámico (actual y futuro sin proyecto).
  Análisis demográfico.
  Análisis socio-cultural y político.

- Definir las modificaciones sociales producidas por el proyecto.

B) Predicción.

- Identificar los impactos sociales que puedan ser significativos.

- Identificar en que áreas o comunidades va a tener lugar dicho impacto.

- Identificar el tiempo o período en que ocurrirán los impactos.

C) Evaluación.

- Valorar cada uno de los impactos identificados.

- Hacer balance entre los impactos positivos para la población y los negativos.

- Estudiar y presentar otras alternativas en caso de que el balance resulte con unos costos negativos fuertes.

5.2.2. Problemas metodológicos de evaluación de lo social.

La metodología sociológica se enfrenta con grandes problemas. En primer lugar las dificultades son técnicas ya que son muy escasos los instrumentos de análisis y medida. Lo social es de por sí una variable cualitativa que en algunos casos se puede llegar a cuantificar pero con riesgo de incluir una subjetividad que implique un cierto error.

La parte más sencilla es la A) Descripción. En el análisis demográfico están muy desarrolladas las técnicas y es fácil conocer la situación de la población en un área y su dinamismo. Es decir cuales son las características de población actual (volúmen y distribución, crecimiento, composición), así como las proyecciones de lo que se espera en un futuro período de tiempo concreto, sin las modificaciones introducidas por un proyecto de envergadura.

El análisis socio-cultural se basará en una identificación de los factores y fijación de unos indicadores fiables que puedan ser objeto de medición.

Los métodos de identificación más usados son:

- Listas de chequeo: factores e indicadores.
- Matrices causa-efecto en las que se relacionan unas listas de acciones con los factores sociales afectados.

De estas matrices se debían sacar los factores más afectados, por medio de un modelo matemático o por análisis directos de toma de datos en la población afectada en vista a obtener una información correcta y básica de las variables fundamentales ya que un análisis serio no puede abarcar todos los aspectos de la sociedad. Una vez han sido identificados los factores sociales más significativos según sean sus características condicionarán la metodología que se haya de aplicar para la realización de dicho trabajo. Así, si sólo pretendemos predecir o evaluar el comportamiento demográfico de una población determinada ante un estímulo prefijado, las posibilidades de cuantificación del impacto así como las variables que se vayan a considerar y la metodología del análisis en su conjunto será bien diferente en el caso en el que el objeto de estudio fuera únicamente las formas del poblamiento de un área o la calidad de vida en la misma.

Esta dispersión metodológica nos plantea dos problemas básicos: el primero de ellos es el de prefijar una metodología de análisis de impacto que sea universalmente aceptada como la mejor. El segundo es el del inevitable cambio en la medida que dicha metodología se experimenta, o dicho de otra forma, la necesidad de contar con una serie de análisis de este tipo para poder "decantar" una serie de principios metodológicos que les sean comunes.

El objeto vendrá muy condicionado por las características del estímulo o impacto que se ha de introducir en el medio social. No es lo mismo ni se puede estudiar con un proceso unitario la repercusión de la instalación de una central nuclear o el aprovechamiento integral de un proyecto hidráulico. No se puede afirmar que exista un método científico único.

En la metodología de la predicción es quizá donde los problemas son más complejos. Se pueden utilizar modelos de simulación, que no implicará necesariamente su expresión matemática, éste puede realizarse en forma de diagrama de manera que se eviten las simplificaciones y las idealizaciones excesivas que el lenguaje matemático impondría. Pero el problema que plantea la construcción de un modelo de simulación es el de la necesidad de su validación a través de la utilización del mismo en casos experimentados. Otro problema no menos arduo es el de la exigencia de un aparato teórico suficientemente perfilado que constituya la base del modelo que se trata de construir. En este trabajo se esbozan las líneas generales de una teoría sociológica, la de la Ecología Humana, que puede servir de base pero que sería preciso desarrollar en un trabajo más amplio.

5.2.3. Factores sociales o variables fundamentales.

Medio Ambiente Físico.

1.- Impactos que afecten directamente al medio físico destruyendo nuestro patrimonio natural. Las tendencias actuales en educación, ocio, renta per capita, nos indican que cada día habrá una mayor demanda de lugares naturales y sanos para el esparcimiento de la población, así como de espacios con un interés educativo, histórico y cultural.

Los espacios a preservar deben ser:

a) Valor ecológico, bien por su situación privilegiada y/o por contener espacios vegetales o animales exóticos o en trance de desaparecer, bien por ser refugios o lugares desérticos únicos en su especie.

b) Valor geológico que añadan una aportación al conocimiento de la historia de la tierra a través del estudio de sus componentes especiales.

c) Valor hidrológico: fenómenos únicos del agua.

2.- Impactos que afecten directa o indirectamente a la población por medio de la ordenación que se haga del territorio.

En este punto será necesario analizar las interrelaciones del sistema económico y del político en su toma de decisiones con el uso del suelo que se hace tanto en los recursos naturales empleados como en la ordenación del territorio que se hace y sus diferentes usos.

En este apartado los puntos más interesantes a efectos de un estudio de impacto serán, requerimientos del proyecto tanto en la fase de construcción, como en la fase de funcionamiento, en cuanto a viviendas, equipamientos e infraestructuras.

Relación de las dimensiones básicas o factores sociales del Medio Físico:

1.- Patrimonio Natural.

a) Valores únicos
- Ecológicos
- Geológicos
- Hidrológicos.

b) Paisaje
- Integración del proyecto con el paisaje.
- Calidad y limpieza: aire, suelo, agua, soledad.

2.- Ordenación del Territorio.

a) Uso del suelo
- Uso del territorio y de recursos naturales.
- Cambios y modificaciones en el uso del suelo.
- Expropiaciones del terreno
- Substracción del territorio y/o de los recursos naturales para otras alternativas de uso.

b) Vivienda
- Número de viviendas.
- Calidad de viviendas
- Posibilidad de conseguir viviendas (compra/alquiler)
- Grado de ocupación
- Satisfacción subjetiva.

c) Equipamientos
- Clasificación
- Cantidad
- Calidad
- Satisfacción subjetiva

d) Infraestructura
- Clasificación
- Cantidad
- Calidad (tipo de control de la contaminación, peligrosidad, residuos...)
- Enlace/ruptura comunidades.

Medio Ambiente Social y Político.

De todos estos factores los que quizá interesen más su análisis e inclusión en las E.I.A. sea por un lado la estructura de clases y conflicto y violencia manifiesta o latente en dicha comunidad, pues su no inclusión o menosprecio puede provocar que una vez puesto en marcha el proyecto sea boicoteado bien por grupos de presión o clases sociales fuertes con intereses o bien por grupos de marginados sociales, radicalizados en una postura contraria a la del proyecto en cuestión (caso de ecologistas y centrales nucleares)

Relación de las dimensiones básicas o factores sociales del Medio Social.

Factores.

1.- Estructura de clases.
   a) Diversidad de status sociales.
   b) Posibilidad de movilidad social.

2.- Estabilidad social.
   a) Grado de integración social.
   b) Nivel de marginación y pobreza.
   c) Conflictividad y violencia.
   d) Estabilidad y cohesión de la familia.

3.- Participación y relaciones sociales.
   a) Instalaciones.
   b) Tiempo libre disponible.
   c) Grado de participación.

Relación de las dimensiones básicas o factores sociales del Medio Político.

a) Participación - Política
   - Elecciones
   - Sindicatos

b) Posibilidad de participación - Instituciones.

c) Opinión pública.

d) Grupos de presión.

En España, ante la E.I.A. se deberá tener en cuenta la defensa del Patrimonio Cultural, como preservación y enriquecimiento de la herencia cultural, e incluirá todos los lugares que contengan restos de nuestro pasado, tanto por su valor educacional (investigación, estudio, ocio...) como por constituir valores únicos e irrenovables de nuestro haber humano. Serán impactos directos todas aquellas acciones que dañen monumentos arquitectónicos, cascos urbanos, entornos históricos, etc.

Otros factores culturales, pueden resultar dañados de forma indirecta, pero no menos profunda e irreparable, como son los referentes a la cultura, entendida como "modo de vida" que engloba como señalábamos antes costumbres, creencias, lenguas, etc. y que su modificación puede ocasionar una alteración en la vida de la población derivándose numerosos conflictos sociales y rupturas impredicibles.

Todo desarrollo tiene que tener en cuenta los valores culturales del pueblo, no puede hacerse de espaldas a él, motivados por intereses económicos y políticos, pues se producirá un crecimiento social.

Las Naciones Unidas son conscientes de ello y en todas las últimas conferencias celebradas se ha puesto de manifiesto este punto, como base necesaria de la que partir en el desarrollo de los países del tercer mundo.

En este sistema, debemos también considerar el nivel cultural, como enseñanza institucionalizada, adquirida y con posibilidad de conseguir la comunidad pues el proyecto demandará mano de obra cualificada o futuros equipamientos para la comunidad que se vaya a formar.

Por último, y no menos importante está el apartado dedicado al ocio, o actividad humana libre es decir fuera del tiempo de trabajo o del tiempo de recuperación (descanso, comidas).

Tras la sociedad post-industrial estamos pasando a la sociedad cibernética, que librará mucha mano de obra; esto unido al envejecimiento progresivo de la población en los países europeos, incluída España, dará como resultado una población cada vez mayor con tiempo libre para el ocio.

Las vías para este ocio son múltiples y como todos los temas sociológicos que estamos tratando, requiere un estudio completo y no unas meras líneas. Si unimos esta tendencia al ocio, con el incremento del nivel de estudios y cultura de la población vemos que el resultado será unas necesidades cada vez más altas en la jerarquía de Maslow, que va de las básicas (fisiológicas) a las de autorealización.

Esta autorealización, consciente, demandará unos lugares e instalaciones para el ocio, variados y de calidad, tanto por su nivel, como por su limpieza o no contaminación (si se trata de espacios naturales).

Relación de las dimensiones básicas o factores sociales del Medio Cultural.

1.- Nivel Cultural.

a) Instalaciones
- Clasificación
  - Elemental
  - Secundaria
  - Profesional
  - Superior
  - Permanente.
- Calidad
- Acceso
- Distribución espacial
- Utilización en cada nivel.

b) Movilidad cultural.

2.- Defensa Patrimonio Cultural.

a) Preservación y enriquecimiento de la herencia cultural:

- Histórica: Personas, Acontecimientos
- Arquitectónica: Paisaje urbano, Monumentos, Estilos
- Cultural: Costumbres, Creencias, Lenguas, Otros.

3.- Actividades de ocio o tiempo libre.

a) Instalaciones
- Clasificación: Deportivas, Parques, Museos, Otros.

- Calidad
- Acceso, disponibilidad
- Distribución espacial

b) Tiempo posible para el ocio

c) Uso del ocio.

Medio Ambiente Económico.

En el análisis demográfico; como factor de producción hay que distinguir dos fases: antes de la construcción del proyecto y en vista a conocer la oferta y demanda de empleo en la localidad, y después del proyecto, en el caso de que requiera guía y gestión en su fase de funcionamiento.

a) En vistas a la E.I.A.

- Perfiles de la población en la localidad afectada. (volúmen, distribución, composición y evolución)
- Proyección de su crecimiento sin proyecto.
- Estimación de la población requerida para la realización del proyecto.
- Valoración del impacto.

b) En vistas a un seguimiento del proyecto.

- Análisis de la calidad de las relaciones laborales por su incidencia en toda la población: satisfacción en el trabajo, remuneraciones, tiempo libre, etc.

Categorías básicas o factores sociales a estudiar en su dinámica e interrelaciones.

1.- Recursos Humanos o Población
2.- Recursos Económicos o Actividades
3.- Relaciones laborales o de trabajo.

1.- Recursos Humanos o Población.

- Volúmen y distribución. - Densidad
  - Concentración.
- Composición - Por sexo, edad, estado civil.
  - Estructura de la población activa
  - Niveles educativos.
- Evolución de la población- Crecimiento vegetativo.
  - Movimientos migratorios.

2.- Recursos Económicos o Actividades.

a) Consumo - Utilidad social del producto
- Información veraz
- Utilidad social de los servicios ofrecidos.
- Garantía y calidad de servicios o/y productos.

b) Renta - Distribución de ingresos y gastos
- Protección contra riesgos económicos.

3.- Relaciones laborales.

a) Empleo
- Empleo por ramos de actividad
- Empleo según calificación o especialización
- Paro y subempleo.

b) Calidad de vida en el trabajo
- Remuneraciones
- Jornada laboral
- Posibilidad de conseguir trabajo lucrativo
- Posibilidad de conseguir trabajo adecuado al nivel de instrucción.
- Satisfacción en el trabajo.
- Participación.

5.2.4. Factores sociales incluidos en las metodologías mas usuales de la E.I.A.

A continuación analizaremos las metodologías más usuales que se vienen utilizando en las E.I.A., comentando nada más su relación con los factores sociales ya que estas metodologías han sido analizadas y descritas por María Teresa Estevan, en su libro "Las evaluaciones del impacto ambiental", su aplicación es similar para todos los factores ambientales.

Matriz de Leopold: es un método de identificación, que se preparó para el servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos, como ayuda para la E.I.A.

Consiste en una matriz cuyas entradas según columnas son acciones del proyecto y las entradas según filas son características y condiciones del medio que pueden resultar alteradas. Las acciones son 100 y 88 los efectos. En cada estudio se seleccionan las interacciones de tal forma que suelen quedar reducidas de 25 a 50.

Los factores sociales incluídos en esta matriz son los siguientes:

1.- Uso del suelo

Espacios salvajes/naturales
Zonas humanas
Selvicultura
Pastos
Agricultura
Residencial
Comercial
Industrial
Zona extracción minera

2.- Recreo/ocio
Caza
Pesca
Navegación
Natación
Acampada

Excursiones
Refugios

3. - Estético (de interés humano)

Vistas panorámicas
Calidad zonas desérticas (soledad)
Calidad de los espacios naturales
Paisajes únicos
Trazado del paisaje
Parques/reservas
Monumentos
Especies vegetales y animales únicas o raras
Sitios y objetos históricos y arqueológicos

4. - Status cultural

Modelos culturales de estilo de vida
Salud y seguridad
Empleo
Densidad de población

5. - Instalaciones y actividades humanas

Estructura
Calidad y cantidad de vías de transporte
Redes de infraestructuras

Método Battelle: su base es la definición de una lista de indicadores de impacto con 78 parámetros ambientales que a su vez se agrupan en cuatro categorías una de ellas es "aspectos de interés humano".

Se establece por tanto unos niveles de información progresiva: categorías ambientales componentes→parámetros.

En relación a las categorías de interés humano están descompuestos de la forma siguientes:

Valores educaciones y científicos (48)

13 Arqueológico
13 Ecológico
11 Geológico
11 Hidrológico

Valores históricos (55)

11 Arquitectura y estilos
11 Acontecimientos
11 Paisajes

11 Religiones y culturas
11 Frontera del Oeste

Culturas (28)

14 Indios
7 Otros grupos étnicos
7 Grupos religiosos

Sensaciones (37)

11 Admiración
11 Aislamiento/soledad
4 Ministerio
11 Integración con la naturaleza

Estilos de vida (patrones culturales) (37)

13 Oportunidades de empleo
13 Vivienda
11 Interacciones sociales

" Las evaluaciones del impacto ambiental", Ma. Teresa Estevan recoge los siguientes factores correspondientes al impacto socio-económico:

- Territorio

Uso inadecuado del territorio y de los recursos naturales

Cambios y modificaciones en el uso del territorio

Substracción del territorio y/o de los recursos naturales para otras alternativas de uso

- Alteración paisaje

Destrucción o alteración paisaje

Destrucción sistemas naturales

- Aspectos socio-culturales

Destrucción o alteración de la calidad de vida existente en cuanto a consideración de aspectos culturales, históricos, etc.

Molestias debidas a congestión urbana y de tráfico.

Alteración de los sistemas o estilos de vida.

Tendencias de variación de la población. Demografía.

Empleos o trabajos que pueden generarse en la zona durante la construcción del proyecto

Empleos fijos que pueden generarse en la zona durante el funcionamiento del proyecto.

Variaciones en el valor de los terrenos, como consecuencia del proyecto.

Incrementos económicos de actividades comerciales, servicios, etc. durante la construcción y después durante el funcionamiento del proyecto.

Lugares histórico-artísticos que pueden quedar afectados.

Vivienda
Infraestructura viaria
Infraestructura sanitaria
Servicios comunitarios y equipamiento urbano
Otros.

5.2.5. METODOLOGIA EN UN CASO CONCRETO

" Evaluación de Impacto Social, guía y gestión en la industria de la energía", USA 1977

Su metodología consiste básicamente en:

1º. - Análisis del área influída por el proyecto.

Dimensiones	Delimitación área	Características	Potencial previsto
Geografía			
Demografía			
Economía			
Instalaciones			
Instituciones			
Cultura			

2º. - Análisis demográfico

- Empleo
  Directo/indirecto
- Población
  Migraciones, tamaño, distribución, composición

Estas dos variables se estudian en relación a la mano de obra demandada por el proyecto, las migraciones necesarias para el mismo, la distribución espacial de los inmigrantes a emplear, el empleo secundario y el incremento total de población relacionada con el proyecto.

39. - Análisis socioeconómico (de coste/beneficio)

- Necesidades (en bienes y servicios)

Servicios
Equipamientos
Personal

- Costes (ingresos y gastos)

Creencias y actitudes
Proyectos y problemas

Toda esta información se obtiene para tener los datos con que analizar el impacto probable del proyecto que constituye la predicción y sirva para informar y ayudar en la toma de decisión de la construcción del proyecto.

En algunos casos se hace necesario continuar la vigilancia del funcionamiento del proyecto y el proceso de E.I.S. continúa con una guía y gestión, así por ejemplo si se detecta una escasez de casas o de puestos escolares, etc., la continuidad del proceso de evaluación es necesaria. Con esta metodología se obtiene los cambios estimados demográficos y socio-económicos que son atribuibles al proyecto dentro de un área definida. Los cambios probables en la calidad de vida están normalmente implícitos. La configuración de la demanda y la oferta está hecha para los bienes y servicios públicos básicos como vivienda, instalaciones públicas, escuelas, instalaciones sanitarias y servicios. Los ingresos y gastos están estudiados en un período de tiempo concreto.

Los impactos sociales y económicos se deducen de este conjunto de cambios, en unos casos se hace a través de estudios de coste/beneficio. Sin embargo los estudios de los factores socio-culturales no están muy desarrollados ni llevados a la práctica hasta el presente.

Cada informe de la industria de la energía aporta una matriz con el tipo de componentes antes enumerados y el tipo de análisis empleado que consta de:

a) Tipología de los datos utilizados: directos/indirectos

b) Número de años estudiado

c) Tamaño del área analizada: local/regional

d) Número de factores estudiados: básicos/extensos

e) Tipo de análisis realizado: descriptivo (sin estudiar la dirección y magnitud de las variables, ni sus relaciones).

f) Método de codificación: manual/ordenador

g) Número de casos estudiados

h) Resultados obtenidos: cuantitativos, cualitativos.

i) Interpretación: subjetiva/objetiva (según incluyan la opinión de la población o sean conclusiones basadas en datos).

j) Estado de la metodología: implícita/explícita

k) Nivel de esfuerzo: bajo, medio, alto

- EHRLICH, P. " Población-Recursos-Medio Ambiente". Omega
- GARCIA DURAN, J. y PUIG BASTARD, P.. "La calidad de la vida en España". Moneda y Crédito.
- HAWLEY, A. "Ecología Humana". Tecnos
- HAWLEY, A. "La estructura de los cambios sociales" . Tecnos
- MAESTRE, J. "Medio Ambiente y Sociedad". Ayuso
- MEADOWS, M. y otros. "Los límites del crecimiento" . Fondo de Cultura Económica.
- MUSAROVIC, M. y PESTEL. "La Humanidad en la encrucijada". Fondo de cultura económica.
- PACCINO, D. " El embrollo ecológico" . Avance
- TIMBERGEN, J. "Reestructuración del orden internacional". Fondo de cultura económica.