

00381

29.

1



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ASPECTOS BIOLOGICOS DEL PROBLEMA AMBIENTAL CONTEMPORANEO

Tesis que presenta, para optar al grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA),  
Federico Alberto Bolaños y Serrato, 1987.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN.**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

RESUMEN . . . . .	vii
EPIGRAFES . . . . .	viii
INTRODUCCION . . . . .	ix
Capítulo I: ANTECEDENTES . . . . .	1
Capítulo II: ADECUACION E IMPACTO BIOLÓGICO . . . . .	27
Capítulo III: BOSQUES . . . . .	85
Bosques lluviosos tropicales o selvas . . . . .	90
Funciones ambientales . . . . .	93
Riqueza de especies . . . . .	97
La selva en peligro . . . . .	110
Agricultura . . . . .	114
Ganadería . . . . .	118
Cosecha de madera . . . . .	119
Leña . . . . .	123
Umbral del impacto biológico . . . . .	128
Extinción de especies . . . . .	131
Efecto invernadero . . . . .	149
Bosques templados . . . . .	162
Lluvia ácida . . . . .	165
Capítulo IV: SUELOS . . . . .	179
Degradación y pérdida . . . . .	188
Conversión de suelos a otros usos . . . . .	212
DESERTIFICACION . . . . .	213
Capítulo V: OCEANO . . . . .	226
Estructura y propiedades . . . . .	231
Aspectos generales del medio ambiente marino . . . . .	240
Temperatura . . . . .	241
Composición del agua de mar . . . . .	244
Gravedad específica y presión . . . . .	251
Iluminación . . . . .	253
Corrientes . . . . .	255
El océano y la atmósfera . . . . .	257
El océano viviente . . . . .	261
Relaciones tróficas y productividad . . . . .	262
Zonas de surgencia . . . . .	270
El hombre y el océano . . . . .	275
Pesquerías . . . . .	275
Sobreexplotación . . . . .	280
Transporte . . . . .	292
Vertedero de desechos . . . . .	298
Fuentes de la contaminación marina . . . . .	304

Contaminantes . . . . .	324
Productos químicos . . . . .	325
Petróleo . . . . .	359
Metales . . . . .	397
Radionúcleos . . . . .	419
Descargas térmicas . . . . .	427
Contaminación biológica . . . . .	436
Capítulo VI: ATMOSFERA . . . . .	446
Atmósfera inferior . . . . .	450
Atmósfera superior . . . . .	452
Composición química . . . . .	453
Flujo de energía y clima . . . . .	454
Contaminación . . . . .	460
La capa de ozono . . . . .	464
Destrucción por CFC y otras especies químicas . . . . .	471
El clima . . . . .	480
Los organismos . . . . .	482
Daños al ADN . . . . .	484
Daños a las plantas . . . . .	487
Efectos en el fitoplancton . . . . .	489
Efectos en animales . . . . .	492
Efectos en el hombre . . . . .	494
Capítulo VII: HOMBRE . . . . .	503
Cáncer y adecuación humana . . . . .	510
¿ Qué causa el cáncer ? . . . . .	513
Mecanismo de aparición . . . . .	516
Carcinógenos . . . . .	525
Radiación ionizante de bajo nivel . . . . .	526
Hidrocarburos aromáticos policíclicos . . . . .	530
Dietilestilbestrol . . . . .	531
Cloruro de vinilo . . . . .	532
Aditivos alimentarios . . . . .	533
Anticonceptivos anabólicos . . . . .	537
Productos químicos inorgánicos . . . . .	538
Asbestos . . . . .	538
Metales . . . . .	542
Agentes biológicos . . . . .	546
Aflatoxinas . . . . .	546
Virus . . . . .	548
Dieta . . . . .	548
Tabaco . . . . .	552
Daños a la salud . . . . .	557
CONCLUSIONES . . . . .	572
APENDICE I . . . . .	576
APENDICE II . . . . .	578
APENDICE III . . . . .	583
APENDICE IV . . . . .	586
APENDICE V . . . . .	588
APENDICE VI . . . . .	590
BIBLIOGRAFIA . . . . .	592

## RESUMEN

En la tesis se reconocen dos aspectos básicos: la reproducción como característica esencial del proceso evolutivo de los seres vivos, y el efecto deletéreo de las actividades humanas sobre su adecuación.

Se propone el concepto de impacto biológico como instrumento de comprensión y análisis en la investigación ecológica sobre la perturbación humana de la Biósfera.

Se analizan en forma general los tres grandes sectores biosféricos: tierras, océano y atmósfera, incidiendo sobre su estructura y organización y en particular sobre su perturbación, debida a la acción contaminante y destructora -- que el hombre ejerce sobre algunos de los diferentes ecosis temas que los componen. Se incluye también un capítulo sobre el impacto biológico en las poblaciones humanas.

Las conclusiones más importantes de la tesis son:

- la posibilidad, en un plazo indefinido, de la desaparición de la vida en la Tierra
- el efecto sinérgico de las acciones perturbadoras
- la incidencia casi generalizada de éstas sobre la base reproductiva de las poblaciones biosféricas
- el papel fundamental que debe asumir el biólogo ante esta problemática y en la búsqueda de su solución.

## E P I G R A F E S

" Pocas amenazas a la paz global y a la sobrevivencia de la comunidad humana son mayores, que aquellas impuestas por la perspectiva de una degradación acumulativa e irreversible de la Biosfera, de la cual depende toda vida humana "

(Reporte Brandt en Tolba, 1983: 31)

" Las consecuencias potencialmente catastróficas de la destrucción ambiental y el desperdicio de los recursos del planeta, debieran llenar a todas las naciones - gobiernos, industria, gente - con un sentido de urgencia "

(Mustafá Kamal Tolba, 1983: 40)

" La Ecología, ¿ ciencia de la naturaleza o ciencia humana ? Una y otra cosa, ciertamente. Pero no ciencia de una naturaleza que excluya al hombre, ni ciencia de una -- humanidad alejada de la naturaleza. Ciencia por tanto, que sólo podrá consolidarse en la medida en que quienes la --- practican estén movidos también por un compromiso profundo con la responsabilidad del hombre en el proceso general de la evolución "

( Francesco Di Castri, 1981: 11)

" Un mundo viable y tolerable - un ecosistema humano estable para el mundo - es conceptual, ecológica y socialmente posible, pero no será alcanzado a menos que hombres y mujeres dotados de previsión, determinación e inteligencia consigan idear formas de controlar, modificar y redirigir esas normas de comportamiento que se han consolidado - en el curso de la evolución humana y que nos han llevado hasta el borde del caos "

( Mac Farlane Burnet, 1970: 204)

" A la tasa actual de 'progreso', y a menos que se haga algo rápidamente, el desastre nos dará de lleno en la - cara. Erosión, desertificación y contaminación se han vuelto nuestro destino. Es una extraña forma de suicidio, ya - que estamos desangrando nuestro planeta hasta la muerte "

(Gerald Durrell en Myers, 1984 : 10)

" La humanidad no sólo puede prevenir y evitar el ulterior emporamiento del medio que nos rodea, sino además, asegurar su mejoramiento racional "

(I. Guerásimov et al., 1976 :421)

## I N T R O D U C C I O N

Uno de los problemas más importantes a que se enfrenta hoy en día la humanidad es la perturbación del medio en que vive: la Biósfera, ya que ésta además de satisfacer sus necesidades biológicas básicas proporcionándole aire, agua y alimento, es también la fuente de la cual el hombre obtiene gran parte de los recursos que requiere su desarrollo económico, social y cultural.

A partir de la Revolución Industrial, pero fundamentalmente después de la Segunda Guerra Mundial, la perturbación ha alcanzado niveles exagerados, provocando un impacto tal sobre la Biósfera que puede llegar a alterar su estructura y funcionamiento de manera irreversible. Sus consecuencias más aparentes han tenido implicaciones políticas importantes, por ejemplo: la pérdida de suelo agrícola, un recurso no renovable o la contaminación del aire y sus secuelas para la salud en las grandes urbes. Debido a ello, el interés general sobre los problemas ambientales ha tenido connotaciones sociales profundas y ha sido manejado en buena parte, sobre todo en nuestro país, por políticos, sociólogos, economistas y comunicólogos, desviándose de esta manera la atención sobre el problema fundamental: los aspectos biológicos.

La presente investigación documental y bibliográfica, pretende definir cuál, de los múltiples aspectos que conforman a los seres vivos, es la característica básica sobre la que gravita el desequilibrio producido por la intensa actividad humana.

Se propone como un instrumento para la investigación ecológica el concepto de impacto biológico, que a nivel cualitativo y cuantitativo pueda servir como herramienta de trabajo y análisis para comprender y resolver - si el hombre - así lo decide - el problema ambiental contemporáneo.

La proposición es precisamente eso, no se pretende haber logrado una concepción definitiva, sino más bien exponer una tesis que pueda ser de utilidad para el manejo científico de la problemática.

Una vez establecida la tesis, se ha emprendido un gran esfuerzo por delimitar los principales aspectos de esta crisis, para ello se optó por trabajar sobre cada uno de los sectores biosféricos que sustentan la vida en la Tierra. -- Así, se dedicaron capítulos a las tierras emergidas, básicamente continentales, al océano mundial y a la atmósfera, y se añadió uno más referente al hombre. Estos se estructuraron en dos secciones: una introductoria que describe las principales características del ecosistema en cuestión (salvo en el dedicado al hombre), y otra que presenta información objetiva y reciente sobre su perturbación.

La investigación no es un tratado ni un compendio de la cuestión ambiental, considera solamente algunos de los aspectos más relevantes de la perturbación que inciden directamente sobre la adecuación de los organismos, de allí que en el capítulo sobre el hombre se considere únicamente un ejemplo de impacto biológico.

Un resultado importante es poner en claro el papel esencial que debe asumir el biólogo en la sociedad contemporánea.

La insuficiente disponibilidad de información que existe en México sobre el particular se refleja en las carencias a lo largo del trabajo. No obstante, debo señalar que éste representa la culminación de un esfuerzo de trece años durante los cuales he logrado desarrollar una clara conciencia ecológica, de la que ha partido el impulso fundamental para llevar a cabo esta modesta investigación.



Sin la ayuda generosa y desinteresada de un gran número de personas e instituciones no hubiera sido posible culminar el presente ensayo, no obstante lo cual, la responsabilidad final del mismo es sólo de quien esto escribe y a quien deben adjudicarse errores y omisiones. En todo caso la obra está abierta a la crítica y la discusión, las que seguramente producirán los cambios que se requieran para hacerla finalmente un producto útil para las generaciones presentes y futuras.

FEDERICO BOLAÑOS  
Ciudad de México  
junio, 1987.

C A P I T U L O I  
A N T E C E D E N T E S

Sería imposible presuponer la fecha o el lugar en que el hombre comenzó la perturbación de la Biósfera, ya que ni siquiera sabemos con precisión cuándo y dónde aparecieron los primeros hombres y mujeres propiamente humanos.

Sabemos que este producto evolutivo que denominamos Homo proviene de organismos más antiguos y "primitivos", los que a su vez, inmersos en el caudal evolutivo planetario descendían de reptiles y peces ancestrales, y que todos los organismos - que existen hoy en día están adaptados a las condiciones en las que viven en su medio natural. De esta forma, la morfología, el comportamiento y el ciclo de vida de una especie animal, vegetal o de otro reino de la vida, no sólo incorpora sus adaptaciones, sino que refleja las limitaciones e idiosincrasias históricas de sus ancestros.

En la misma forma, el intervalo habitacional y la distribución geográfica de una especie son productos, ambos, de eventos históricos y de las limitaciones fisiológicas impuestas por el medio dentro del cual son apropiadas las adaptaciones de la especie.

En última instancia, estas limitaciones ambientales dependen de la cantidad y disponibilidad de energía, y de la forma en la cual esta energía es distribuida entre funciones tales como: alimentación, crecimiento, reproducción y defensa.

La disponibilidad de energía varía sistemáticamente sobre la superficie de la Tierra tanto a nivel microgeográfico (de hábitat a hábitat) como geográfico (entre regiones). Al cambiar las condiciones en el ambiente físico a lo largo de un gradiente, cambian también los organismos asociados (Vermeij, 1978).

Tal vez estos cambios - motor mismo de la evolución - fueron los que indujeron a los primeros homínidos a perturbar su

ambiente. Impulsados por la necesidad de protegerse, acuciados por el hambre y tal vez el clima, enfrentados a competidores mejor adaptados a su ambiente o medio natural, el hombre, finalmente, perturbó la Biósfera de la manera más humana posible, introdujo por primera vez en la historia del planeta, instrumentos fabricados por su mano dirigida por el cerebro humano en expansión. Aquella materia primigenia, hueso o piedra, madera y marfil, habían cambiado sólo de forma, pero este pequeño (en ocasiones casi imperceptible) cambio cualitativo sería el inicio de la transformación más impresionante sufrida por el ambiente desde la época de los grandes cataclismos naturales, de la división de Pangea, setenta millones de años atrás.

El hombre no se conformó contemplando el fuego de los bosques después de una tormenta o de los pastizales en medio de una gran sequía, captó el poder sutil de esa rara energía, y pronto (c. un millón de años a.n.e.) su ingenio le permitió "controlarlo" y aplicarlo en apoyo de su propia adecuación. Algunos piensan que a partir de este momento el hombre empezó a perturbar su ambiente encendiendo fuegos y manteniéndolos indefinidamente. No obstante, ello es una exageración que no cobraría vigencia hasta épocas muy posteriores.

En aquellos tiempos era más importante la ecología de poblaciones que la perturbación originada por las mismas. El número de habitantes humanos en épocas prehistóricas era muy reducido y dependía fuertemente de factores estrictamente biológicos, ya que aún no se desarrollaban las sociedades complejas que darían lugar a los asentamientos posteriores. En estas condiciones de elevadas tasas de natalidad, pero también de mortalidad, el primer imperativo era sobrevivir y el comportamiento de la especie se orientaba a ello (Burnet, 1973). Así se mantenía un precario equilibrio entre la vida y la muerte y las poblaciones no incrementaban grandemente sus números, por lo tanto su alteración ambiental era mínima o inexistente. Si una familia de cuatro individuos arrojaba sus desechos a un pequeño lago junto al que habitaban, las aguas se encargarían de diluir estos de-

sechos e incluso servirían como aporte de nutrientes para las cadenas tróficas lacustres, pero cuando diez mil individuos - hacían lo propio es seguro entonces que el equilibrio acuático sufriera algún tipo de alteración; lo mismo puede decirse del manejo del fuego y de la caza. Si dos o tres personas asistían diariamente al pequeño bosque junto al lago a recoger y/o cortar madera para mantener el fuego, el bosque no resultaría afectado, pero si el corte y la recolección de leña era efectuada por cinco mil individuos pronto empezarían a sentirse los efectos en la comunidad silvícola. Un último ejemplo lo constituiría la obtención de alimento, si un pequeño grupo de ocho o doce individuos recolectaba frutos, semillas o insectos del bosque, o bien pescaba en el lago o cazaba pequeños mamíferos y aves en los alrededores, las poblaciones de presas no resultarían muy afectadas, pero la acción ejercida por miles en el mismo ecosistema pondría en peligro la estructura alimentaria de la comunidad.

Cuando hablamos de perturbación, el número es lo que cuenta\*. La demanda de espacio y recursos de diversos tipos llevó a los grupos primitivos a la migración, extendiéndose finalmente la población humana a través de toda la superficie terrestre, tanto continental como insular.

Los cambios climáticos de origen eminentemente natural así como otras catástrofes naturales actuaron nuevamente como presión de selección sobre las incipientes poblaciones humanas, y sus miembros se vieron presionados cada vez más por este deterioro ambiental a agudizar su ingenio e inventiva, hasta que finalmente hace unos diez mil años empezaron a aparecer en diferentes regiones del globo asentamientos humanos, cultivo de alimentos y crianza de animales domesticados, lo que empezó a cambiar muy pronto el panorama de la perturbación por parte -

---

\* Aunque actualmente se sigue presentando esta presión perturbadora numérica en muchos países en desarrollo, acaso la mayor perturbación ambiental, en el sentido con que se trata en la tesis, se deriva de una demanda excesiva de recursos planetarios por los ciudadanos de los países desarrollados, numéricamente inferiores, en una proporción aproximada de tres a uno respecto a los primeros.

del hombre. Su actividad desde entonces ha tenido un efecto simplificador de los ecosistemas, el establecimiento de campos de cultivo, con la consecuente uniformidad genética y su secuela - de reducción en la diversidad, constituye un buen ejemplo, vale decir lo mismo para los rebaños de animales domesticados.

La perturbación comprendió además: la transformación de -- bosques en ciudades, áreas de pastoreo y campos de cultivo irrigados, y posteriormente en zonas semidesérticas y desiertos como producto de la degradación del suelo, cuyas cuatro causas -- principales de acuerdo con Tolba (1983) son:

- tala inmoderada
- sobrecultivo
- irrigación deficiente
- sobrepastoreo

y son ellas precisamente las que provocaron que grandes áreas bajo cultivo, en el histórico "creciente fértil", se perdieran para la agricultura.

La tala excesiva convirtió lo que hace dos mil años era -- una rica jungla en la India occidental, en lo que hoy se conoce como el Desierto del Thar. En Líbano, los famosos cedros (Cedrus libani) fueron cortados en las laderas montañosas, y utilizados durante siglos en la construcción de navíos fenicios, egipcios y persas, también en la construcción de grandes templos como el - de Salomón, entre otros usos. Con su tala inmoderada se perdió - el suelo de las montañas y con ello la posibilidad de regenerar las poblaciones de cedros que ya nunca han vuelto a recuperarse (Hardy, 1975 ).

Estos ejemplos abundan en la historia de casi todos los -- pueblos y no fueron los únicos tipos de perturbación, la cons--trucción de presas, canales y puertos, así como la explotación de las minas, empezaron a definir su impronta sobre los ecosistemas de - la Tierra, al tiempo que diferentes especies de organismos desa--parecían como producto de la actividad perturbadora y creciente del hombre.

Otro tipo de trastorno humano hizo su aparición con los asentamientos urbanos, desde entonces el hombre se convirtió en un considerable consumidor y dilapidador de recursos y, por lo tanto, en gran generador de desechos de todo tipo. Las excavaciones realizadas en Troya muestran que los habitantes arrojaban su basura en el piso de sus casas y la dejaban acumular hasta que ya no se podían abrir las puertas, y entonces, reajustaban las puertas. En Atenas se mejoraron de alguna manera estos hábitos ya que la basura era arrojada en tiraderos en los bordes de la ciudad ( lo que se sigue haciendo hoy día en la mayor parte de las ciudades del mundo). Los romanos también dejaban masas de desechos, basura e incluso cuerpos humanos, en zanjas abiertas en las inmediaciones de la ciudad eterna, lo que seguramente contribuyó a las epidemias de tifoidea, cólera, tifo y malaria que asolaron a la ciudad durante siglos.

Al incrementarse la urbanización se incrementó también la perturbación, ahora en forma de sustancias contaminantes en el ambiente. Las ciudades medievales emitieron muchos edictos con poco éxito, prohibiendo el tirar desechos en las calles y canales. En 1273, se aprobó la primera ley conocida en Inglaterra ( y posiblemente en todo el mundo) para la reducción del humo ambiental (Spilhaus y Stein, 1975). En 1303, en la misma Inglaterra, la gente empezó a preocuparse y protestar por el mal olor de la atmósfera en las ciudades; el objeto del problema era el uso del carbón mineral o hulla (rico en azufre) que había sustituido como combustible, gradual y completamente, a la leña proveniente otrora de los ya agotados bosques. En este mismo año una orden del rey Eduardo I a los sheriffs de Surrey y Londres -- prohibía el uso de hulla en hornos para leña y carbón vegetal debido "al intolerable hedor que infectaba el aire para gran daño y ofensa de los prelados, magnates y otros que frecuentaban Londres para realizar negocios públicos así como la gente que allí vivía", y un hombre fue ejecutado en la horca por no -

obedecer el edicto (Mabey, 1974).

En 1388 el Parlamento prohibió el vertido de aguas negras y basura en zanjas, ríos y otras aguas, pero el edicto no tuvo éxito, y en Inglaterra, al igual que en la mayor parte de Europa, la gente continuó durante la Edad Media arrojando sus desperdicios por la ventana a las calles de las ciudades (Spilhaus. y Stein, 1975). La reina Isabel I se quejaba de las fábricas de cerveza establecidas en las inmediaciones del palacio real y en 1648 los ciudadanos de Londres solicitaron la prohibición de la hulla en la ciudad. No obstante, nada se hizo y la hulla se convirtió dos siglos después en el combustible e impulso de la Revolución Industrial, y fue debido a ello que-nuevamente en Inglterra, su cuna original y en donde floreció hasta alcanzar su máximo desarrollo- el apilamiento de industrias en las zonas urbanas empezó a producir los primeros efectos ambientales. Una sólo fábrica en una ciudad no era motivo de preocupación pues la atmósfera podía disipar rápidamente sus efectos, pero 20 fábricas en un área generalmente reducida se convertían en una sombría realidad para los habitantes. Birmingham, Manchester, Leeds y otras poblaciones, empezaron pronto a sentir los efectos del modernismo industrial; el ruido - ya señalado por César en la Roma imperial como una molestia insoportable - no era sin embargo el problema principal, más peligrosos eran los gases liberados a la atmósfera: cloro, amoníaco, monóxido de carbono y metano que incrementaron la incidencia de bronquitis y neumo nía. El agua también recibió su carga perturbadora; se tienen reportes de que los olores que emanaban del río Támesis en 1850 hacían casi imposible la vida en Londres; en el mismo río, el último salmón había sido registrado en 1832; en Manchester, las aguas negras inundaron los canales de agua dulce y la esperanza de vida entre los pobres no pasaba de veinte años (Mabey, 1974).

El problema surgía de la imposibilidad de estas pequeñas ciudades de enfrentar las demandas sanitarias elementales de una población creciente, que venía a satisfacer a su vez la - demanda de mano de obra industrial. En otras partes del mundo

a donde había llegado ya la nueva industrialización, se veían situaciones parecidas; en el canal sanitario de Chicago había una capa de suciedad tan grande que se dice que la gente podía caminar sobre ella (Spilhaus y Stein, 1975).

Mientras tanto, la expansión de los imperios coloniales europeos en Africa, Asia, América y Oceanía provocaba la destrucción de selvas y bosques, pérdida de especies, la implantación de cultivos y animales exóticos, ajenos y perturbadores, a las tierras en que eran introducidos; la demanda de minerales y posteriormente de energéticos, el desarrollo de las vías férreas, la apertura de vías navegables y caminos a través de todas las regiones del globo, impuso el inicio de una perturbación que alcanzaría su clímax cien años más tarde en la época contemporánea.

Después de la expansión inicial de la Revolución Industrial en el siglo pasado, el volumen total de la acción que la sociedad (principalmente europea) ejercía sobre la naturaleza empezó a superar, en muchas partes de la superficie terrestre, el potencial natural de reestablecimiento del equilibrio (homeostasis), con lo que se produjeron cambios irreversibles en el medio, ya no sólo de carácter local sino también regional (Guerásimov - et al., 1976). Es decir, que con la llegada de la Revolución Industrial sólo hace ciento cincuenta años, la capacidad del hombre para modificar los ecosistemas dio un paso gigantesco (Hardy, 1975).

La llegada del siglo XX produjo no obstante, en este sentido, los mayores aportes con el desarrollo del automóvil particular y los avances en la industria y la agricultura que introdujeron miles de nuevos productos químicos a la Biosfera, gases y otros productos secundarios. Con el tiempo no se hicieron esperar entre los hombres las catástrofes ambientales:

- en diciembre de 1930, en una sección fuertemente industrializada del valle del río Meuse en Bélgica, cientos de personas enfermaron y sesenta murieron durante una niebla que se asentó cuatro días sobre la ciudad (Spilhaus y Stein, 1975).



- en octubre de 1948, en el valle del río Monongahela en Donora, Pennsylvania, otra inversión térmica (la que ocurre - cuando una capa de aire caliente se establece sobre una de aire más frío evitando que se disipe el aire contaminado), atrapó - sobre la ciudad los gases y humos provenientes de una siderúrgica, una fábrica de ácido sulfúrico y una planta procesadora de zinc; casi siete mil de los catorce mil habitantes enfermaron y veinte murieron (Turk et al., 1974).

- en diciembre de 1952, en Londres, la ciudad vivió durante cuatro días la acumulación de gases tóxicos, se ignora el número de personas que enfermaron, pero durante el evento y las tres semanas siguientes, murieron cuatro mil personas como resultado de su exposición al aire contaminado (Waldbott, 1978).

Finalmente, en 1962, Raquel Carson acusó a la industria de pesticidas de provocar la muerte indiscriminada de pájaros y otros animales y producir la "primavera silenciosa", que se veía una realidad cada vez más extendida en muchos lugares de la Unión Americana. A partir de su trabajo, y debido a las presiones manifiestas desde tiempo atrás y a las catástrofes reseñadas - anteriormente ( y que constituyeran sólo una muestra), el mundo pareció salir de su letargo y se encontró de repente frente a uno de los más grandes desafíos en la historia de la humanidad, el problema ambiental contemporáneo.

De la noche a la mañana, nos dimos cuenta que los bosques y las selvas del planeta estaban desapareciendo a una velocidad vertiginosa, debido a su tala inmoderada y a la precipitación seca o húmeda (lluvia ácida) de los productos industriales; que ello conllevaba la desaparición de especies, disminuyendo la abrumadora diversidad de la vida planetaria (Wilson, 1978); que algunos de los ricos y fértiles suelos tropicales bajo la jungla, se convertían en lateritas, y por ende, en zonas desérticas debido a la pérdida de la cubierta vegetal, con el consiguiente aumento en la reflectividad e influencia en el clima local y tal vez global; que el océano mundial estaba fuertemen

te contaminado, y en algunas costas las bahías se habían convertido en gigantescas cloacas en donde la vida marina no podía florecer normalmente, ello aunado a la sobredepredación de algunas especies y al vertimiento de petróleo, productos químicos y radiaciones, ponía en peligro al que creíamos depósito inagotable de todos nuestros desechos; la atmósfera estaba siendo contaminada por todo tipo de elementos y sustancias, alterando el equilibrio térmico de la Biósfera, e incluso la capa de ozono protectora de la vida en la Tierra se encontraba en peligro, y por si todo ello fuera poco, el mismo hombre recibía dentro de sus ciudades -principalmente- los efectos de los tóxicos que desde décadas habían venido recibiendo los demás organismos del planeta.

Las palabras de Bárbara Ward y René Dubós (1972) al respecto, no dejan lugar a dudas sobre la magnitud del problema:

"... los dos mundos del hombre, la biósfera de su herencia y la tecnósfera de su creación, se encuentran en desequilibrio y, en verdad, potencialmente en profundo conflicto. Y el hombre se encuentra en el medio. Esta es la coyuntura de la historia en la cual nos encontramos colocados, la puerta del futuro se abre hacia una crisis más violenta, más global, más inevitable y desconcertante que ninguna otra que haya con<sup>o</sup>cido la especie humana, y la cual tomará forma decisiva dentro del lapso de vida de los niños que ya nacieron" (Ward y Dubós, 1972).

Para principio de los años setenta se contaba ya con pruebas fehacientes de la crisis ecológica que enfrentaba la humanidad y el resto de la comunidad biosférica, no obstante de acuerdo con Tom Stacey cuatro fueron las reacciones de la gente:

- rechazar las pruebas por absurdas, argumento que ya no es válido en una persona inteligente y bien informada
- " comamos, bebamos y disfrutemos que mañana moriremos", postura irracional y desesperada

- creer que "los científicos ya inventarán algo para arreglarlo", actitud despreocupada e inconsciente que desgraciadamente no es apoyada por los conocimientos actuales
- enfrentarse con los hechos y luchar en pro de los reajustes necesarios y profundos sin los cuales no hay fundamento para albergar esperanzas (Goldsmith et al., 1972).

Las implicaciones de la perturbación trascendieron en aquel entonces, y lo siguen haciendo, la preparación y los conocimientos no sólo del gran público y de sus desprevenidos gobernantes sino incluso la de los profesionales de diversas ramas que participaban libremente de la "recién nacida" ciencia ecológica; era indudable que ni economistas ni sociólogos, tampoco ingenieros o arquitectos, y mucho menos abogados y otros humanistas, ni siquiera químicos y médicos estaban preparados para comprender la magnitud y las implicaciones de la crisis ambiental; sólo los biólogos, debido a su formación profesional, podían y deberían ser los elementos sociales claves en la comprensión, difusión y solución del problema, ahora sí junto con los encargados de las tomas de decisión política y comercial [de los intelectuales y del público en general]. Tres lustros después, sin embargo, aún existe el peligro, tanto a nivel nacional como internacional, de que los gobiernos utilicen las carencias del conocimiento ecológico como una excusa para aplazar la acción que pueden y deben emprender ahora, pero que puede necesitar el ajuste de aspectos políticos que les son caros, porque la ciencia nada puede hacer sin una voluntad política (PNUMA, 1976). La esencia del problema ambiental, como se verá más adelante en la presente investigación, es más política que tecnológica.

Y no obstante, la reacción de los profesionales de la biología no ha sido rápida, comprensiva ni entusiasta, sino más bien discreta e incluso reticente, sobre todo por parte de los biólogos del tercer mundo, en donde sólo un pequeño grupo de científicos avanzados se ha puesto a la vanguardia, mientras la gran mayoría permanece indiferente al margen del problema. Y es precisamente en este contexto en que se ubica la tesis, en la cual

se pretende demostrar a biólogos y no biólogos que el problema ambiental contemporáneo es fundamentalmente biológico, y que - los principales aspectos que de él se derivan, independientemente de su incidencia política, económica y social, son antes que nada biológicos; a lo largo del presente trabajo se procura demostrar, apoyar y enriquecer este principio.

No todo es perturbación y complacencia en la historia humana respecto a su entorno, la preocupación por el ambiente físico y los organismos que lo habitan tiene una historia propia, - que nos lleva desde los orígenes de la civilización humana y su cultura, hasta el establecimiento contemporáneo de organizaciones internacionales que trabajan en pro de la preservación biogéfica y al desarrollo de una ciencia que nos permite metodológicamente hacer frente a los problemas y buscar las soluciones más apropiadas.

Acaso la forma más natural de preocupación por el medio en que vive el hombre se manifiesta como un deseo de conservar los recursos que le rodean y le proporcionan lo necesario tanto para su sobrevivencia y desarrollo cultural como para su enriquecimiento espiritual. Probablemente la preocupación por el entorno no fuera tan antigua entre las primitivas sociedades humanas como su perturbación. De acuerdo con diferentes registros, el hombre descubrió, al tiempo que desarrollaba sus primeras culturas, que no se encontraba completamente por encima del proceso de selección sino que más bien era un producto del mismo, y por ello para poder desempeñarse como la especie de mejor éxito - comprendió que necesitaba manipular con prudencia los recursos a su alcance. Aunque no se tienen registros escritos, se sabe por la tradición que los primeros indicios de conservación fueron los tabúes tribales producto de las circunstancias, y que debido a la prohibición inherente al tabú respecto a un organismo o parte del ambiente físico, éstos pudieron conservarse durante mucho tiempo..

Entre las primeras prácticas conservacionistas se encuen-

tran aquellas ejercidas por los faraones del antiguo Egipto. Para ellos, algunos animales tenían un significado religioso especial (encarnación de deidades: Thoth encarnado en el ave Ibis) - por lo que fueron protegidos, sólo por ésta razón, más de la mitad de las especies de animales salvajes. Por otra parte, los animales de caza no recibían casi ninguna protección, aunque - en algunas regiones sólo podían ser cazados por el faraón, lo que de alguna manera aseguraba sus números; esto no acontecía, por ejemplo, con los patos silvestres cuya captura se realizaba sin trabas; ello dio lugar a que los intervalos habitacionales de estas aves, principalmente los pantanos del delta del río Nilo, se congestionaran en ocasiones con cazadores. Hay un registro de 1198 a.n.e. en que se tuvieron que emitir una especie de permisos de caza para regular de alguna manera su captura.

Entre los faraones - ávidos cazadores - hubo quienes comprendieron que mejorar el hábitat de los animales-presa podía estimular su número. Aunque tales prácticas deben haber tenido un origen temprano en las dinastías, sólo se hicieron extensivas hasta los tiempos de Ramsés II el Grande (1304-1237 a.n.e.), siendo la más común de ellas el plantar árboles (Alison, 1983). En tiempos de los últimos Ptolomeos, en el siglo I a.n.e., era obligatorio plantar una cierta cantidad de árboles en todas las tierras reales. La tala de árboles no autorizada era castigada severamente. En abril del año 46 encontramos entre las leyes de pesca egipcias la prohibición de atrapar con las redes ciertas especies valiosas.

A través de los períodos de dominación babilonia y asiria en Mesopotamia la "conservación" se refirió a la construcción extendida de parques "de placer" llamados "pairidaeza", de los que derivó nuestro vocablo paraíso. Eran lugares cerrados, ricos en árboles y arbustos, y provistos de todo tipo de pájaros y animales salvajes. En el siglo VII a.n.e. el rey Senaquerib de Asiria construyó un gigantesco parque en la ciudad de Nínive; tablillas cuneiformes de la época indican que el rey había dis

puesto muchos parques en la ciudad pero que el central era el mayor de todos, contenía toda clase de árboles y "aves del cielo", así como cerdos salvajes y bestias de los bosques en abundancia.

De origen asirio, aunque de fecha desconocida, es la Ley - Mosaico narrada en Deuteronomio 22:6 y que decretaba el permiso para tomar huevos y pájaros jóvenes de los nidos, pero prohibía la captura de hembras adultas. Tal vez este fue el primer reconocimiento del valor de los organismos reproductores, aunque su incidencia sobre los jóvenes no era muy recomendable (Alison, 1983).

La noción de conservación apareció tempranamente en la India (siglo XII a.n.e.) con el precepto hindú de ahimsa, la no violencia para todas las criaturas, lo que culminó bajo la guía del emperador Asoka (265-238 a.n.e.) quien para propagar su versión del dharmā budista promulgó diversos edictos grabados sobre pilares y piedras. Uno de ellos encontrado en un pilar trata casi exclusivamente de la conservación de la vida salvaje; en él, Asoka ordena la completa protección de loros, gansos diversos, el aruna, mynas, el nadimukha, grullas, murciélagos, hormigas reinas, tortugas, peces cartilaginosos, puercoespines, ardillas, ciervos de doce astas... rinocerontes, pichones blancos... y todos los cuadrúpedos que les eran útiles. Más aún, prohibió la quema de bosques en cualquier caso en que la vida salvaje pudiera ser afectada adversamente (contrastan estos nobles pensamientos con las quemadas indiscriminadas de la selva tropical contemporánea).

La India histórica no sólo se ocupó de la conservación, de acuerdo con Radhakrishna (1982) los profetas védicos\*\*

---

\* La teoría hindú del Dharma o fundamento del orden justo lleva a la naturaleza y al hombre a conservar el mundo; el dharmā se manifiesta en la sucesión regular de las estaciones y en el orden y ritmo que caracterizan el flujo vital de la naturaleza (Radhakrishna, 1982).

\*\* Los cuatro Vedas o himnos sagrados (1500 a 1200 a.n.e.) constituyen el fundamento de la tradición espiritual de la India.

estimulados por la serenidad y el esplendor del entorno hindú, percibieron con fuerza y claridad, la sinfonía de la armónica unidad subyacente en la inmensa diversidad y asombrosa variedad del universo. Para ellos, la naturaleza era a un tiempo fuente sustentadora de vida, manantial de belleza y bondad, y encarnación de la divinidad. Así, en continua comunión con la naturaleza desarrollaron una visión ambiental integradora.

El Mahabharata señala que el mundo de los mortales es un organismo interdependiente. Y en el Isvyasopaniśad se dice:

Este universo es obra del Poder Supremo para beneficio de todos;

Por tanto, todas y cada una de las especies han de aprender a gozar sus favores integrándose en el sistema en estrecha relación con las demás especies.

Que ninguna especie usurpe los derechos de otra.

(Radhakrishna, 1982).

En China se estableció firmemente la construcción de jardines zoológicos y parques de caza en tiempos de la dinastía - Chou (Zhou, que empezó en 1122 a.n.e.). En el año 62 a.n.e. bajo Xiaoxuan se ordenó que la gente fuera impedida de recoger ni dos, o coleccionar huevos, o bien de arrojar flechas u otros objetos a las aves en vuelo.

En el año 7 a.n.e. se impusieron restricciones a la captura de animales salvajes para su exhibición y se prohibió que los estados que integraban el imperio presentaran animales salvajes como regalos al emperador. Las tierras imperiales eran inviolables salvo en caso de hambrunas en que se permitía que el pue blo coleccionara peces, pájaros, tortugas, bestias, hojas de plantas y otros productos (Alison, 1983).

Platón se lamentaba de la denudación de las montañas de Grecia (Batisse, 1981), mientras en esa misma época (c. 375 a.n.e.) las leyes griegas prohibían la pesca y la caza furtivas con redes y trampas. A los cazadores de aves se les prohibía ejercer en campos de cultivo y lugares sagrados, y los pesca dos estaban excluidos de puertos y ríos, lagos y estanques - sagrados, además los métodos de pesca con caña no podían inclu

ir el uso de jugos nocivos que hicieran turbia el agua.

Contrariamente a estas disposiciones, los romanos no tenían trabas para capturar animales salvajes a lo largo del imperio, y no había ninguna restricción a la destrucción de los habitats naturales. Más aún, cientos de miles de animales fueron capturados para su exhibición y matanza en el Circus Maximus de Roma, nueve mil fueron sacrificados sólo para celebrar la inauguración del coliseo y otros once mil fueron sacrificados para celebrar la victoria del emperador Trajano sobre los dacios (antiguos habitantes de Transilvania).

Los mongoles, satanizados por Roma como bárbaros, y a diferencia de los romanos, desarrollaron ciertas prácticas en lo concerniente a conservación y manejo de la vida salvaje.

Bajo Genghis Khan (1206-1227) se establecieron verdaderas vedas en forma de leyes que prohibían a cualquier hombre del imperio matar diferentes animales y aves entre los meses de marzo a octubre. Su nieto Kublai Khan (1260-1294) fue más allá, instituyó un programa de alimentación de la vida salvaje en gran escala, ordenando la siembra de maíz y otros granos a lo largo de los caminos públicos. Nadie podía cosechar los frutos de estas plantas ya que estaban destinados exclusivamente para la alimentación de las aves salvajes.

En la misma época, del otro lado del planeta, los incas en Perú establecieron reservas para la vida salvaje en las que florecieron: alpacas, pumas, osos, zorras, venados y otros animales; sólo el Señor de los incas podía cazar en tales lugares so pena de muerte para los transgresores. Había regiones en las que cualquier inca podía cazar, pero en ellas la caza se organizaba de una manera excepcional, un año de caza por tres de veda. En muchos casos sólo se mataban animales considerados dañinos. Las alpacas eran capturadas, esquiladas y puestas en libertad. Nunca se mataba a las hembras de todas las especies útiles, y los colibríes, águilas, buitres y algunos patos, eran protegidos debido a su significado religioso; tenían también programas de administración de habitats en gran escala, los que incluían



operaciones de siembra de árboles y arbustos.

Entre los aztecas (c. 1250-1519) la caza era primariamente una actividad aristocrática, cualquier individuo podía cazar pecaríes y venados para su alimentación en ciertas regiones públicas, podían también atrapar conejos y capturar patos, pero estaban excluidos de las tierras imperiales. Sólo el emperador y sus principales señores podían cazar allí y en este sentido las tierras imperiales funcionaban como reservas para la vida salvaje debido al reducido número de capturas.

Los aztecas desarrollaron los primeros jardines zoológicos propiamente dichos, en los que a diferencia de los desarrollados por asirios, griegos y romanos, la caza estaba absolutamente prohibida. Había leyes que protegían a quetzales, flamings y otras aves, ya que sus plumajes sólo podían ser usados por la clase dominante. Además los aztecas evitaban la captura de ciertos animales por considerarlos poco limpios y existía también en el imperio una prohibición en contra de la destrucción no autorizada de árboles (Alison, 1983).

En Europa, tras la roturación del continente para la agricultura en la Edad Media, se hicieron esfuerzos a partir del siglo XIII para ordenar la tala de árboles. En Francia, la célebre ordenanza de Jean Baptiste Colbert, ministro de Luis XIV, que estaba destinada a proporcionar madera para la construcción de barcos, contenía también disposiciones que garantizaban la conservación de los bosques. En 1872, en los Estados Unidos, se creó el primer Parque Nacional en terrenos del hermoso paraje de Yellowstone, sin embargo, no fue sino hasta después de la Segunda Guerra Mundial, a mediados del siglo XX, que los esfuerzos para proteger la naturaleza llegaron a constituir un movimiento sólido y estructurado.

En 1945 se fundó la UNESCO, su primer Director General fue el eminente biólogo británico Sir Julian Huxley, quien en base a un gran esfuerzo personal organizó en Fontainebleau, Francia, en 1948, una conferencia internacional que dio origen a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (Batisse, 1981). Dividida en seis comisiones

integradas por más de setecientos expertos, en:

- especies amenazadas
- zonas protegidas
- ecología
- ordenamiento ambiental
- política, derecho y administración del medio ambiente
- educación ambiental.

La Unión vigila la situación de los ecosistemas y especies en todo el mundo y planifica actividades esencialmente de conser  
vación.

En 1961 se fundó el Fondo Mundial para la Vida Salvaje, me  
jor conocido internacionalmente como el World Wildlife Fundation  
o simplemente como WWP; es una fundación conservacionista inter  
nacional; su campo de acción es la conservación del medio ambien  
te natural y de los procesos ecológicos esenciales para la vida  
en la Tierra.

En 1968, la Conferencia sobre la Biósfera celebrada en la -  
casa de la UNESCO, en París, propuso el lanzamiento del Programa  
El Hombre y la Biósfera, MAB (de las iniciales en inglés: Man -  
and the Biosphere), el que finalmente se inició en 1971. El --  
punto de partida del MAB era el estudio del hombre visto desde  
"afuera" (no integrado al ecosistema), es decir, las consecuen  
cias de las actividades humanas en los diversos ecosistemas.  
Posteriormente, en un número cada vez mayor de investigaciones,  
el hombre pasó naturalmente a formar parte integrante de los -  
ecosistemas naturales y de la Biósfera, convirtiéndose en el cen  
tro mismo del estudio. Hoy en día el MAB se ocupa de participar  
activamente en proyectos específicos, por ejemplo:

¿ cómo utilizar los ecosistemas sumamente frágiles de las  
regiones tropicales húmedas, sin destruirlos ?

¿ cómo conservar una parte de los ecosistemas representati  
vos de la Biósfera sin excluir al hombre, sino considerándolo  
como el agente principal de la conservación ? (Di Castri, 1980).

El 15 de diciembre de 1972 y como resultado de la Conferen

cia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en junio de ese año, fue creado el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Una de las tareas encomendadas al mismo, en virtud de la resolución # 2997 (XXVII) de la Asamblea General de la ONU, fue:

" tener continuamente bajo estudio las condiciones ambientales en todo el mundo, con el fin de conseguir que los problemas de vasta importancia internacional que surjan en esa esfera reciban apropiada y adecuada consideración por parte de los gobiernos" (PNUMA, 1979). A lo que se ha añadido:

" y preservar el medio ambiente en beneficio de las generaciones presentes y futuras" .

Es además el primer organismo del sistema de las Naciones Unidas que ha establecido su sede en un país en desarrollo, Nairobi, Kenya. Dentro de su programa de acción se han establecido los siguientes sectores prioritarios: sanidad ambiental, ecosistemas terrestres, medio ambiente y desarrollo, océanos, energía y desastres naturales. Como producto de su actividad a lo largo de estos quince años de existencia el PNUMA ha logrado establecer:

- Grupo mixto de expertos OMI/FAO/UNESCO/OMM/OIEA/ONU/PNUMA sobre los aspectos científicos de la contaminación de las aguas del mar (GESAMP), en 1969
- Publicación de Informes anuales sobre el estado del medio ambiente, a partir de 1974
- El Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos (RIPQPT), en 1975
- Programa de mares regionales, en 1975
- Comité coordinador sobre la capa de ozono, en 1977
- Plan de acción para combatir la desertificación, en 1978
- Elaboración de un plan mundial para la utilización juiciosa de los bosques tropicales, en 1980; entre otros (Tolba, - 1982b).

El objetivo último de las actividades del PNUMA es promo-

ver un desarrollo perdurable y sensato desde el punto de vista ambiental.

Otros acuerdos importantes a nivel internacional celebrados desde 1970 son:

- la Convención sobre el tráfico internacional de especies en peligro (de extinción) firmado ya por más de ochenta naciones desde su fundación en 1973. La CITES [de sus siglas en inglés (Convention on International Trade in Endangered Species)], prohíbe el tráfico comercial internacional de las seiscientas especies más raras de plantas y animales en peligro. (Myers, 1984).

Su labor ha sido extremadamente difícil debido a que los 40 millones de animales que son atrapados por su valiosa piel cada año, como parte porcentual (13%) de los 313 millones que son sacrificados anualmente, ejerce una fuerte presión sobre las poblaciones de las especies más solicitadas. Si a ello añadimos que una sola orquídea o un loro de la Amazonia se coticizan cada uno hasta en 5,000 dólares, y que un abrigo para mujer hecho de la piel de ocelotes latinoamericanos alcanza un precio de 40,000 dólares en la República Federal Alemana, se comprenderá el trabajo laborioso, complejo y en muchas ocasiones estéril de la convención (Myers, 1984b).

- Convención sobre tierras húmedas de importancia internacional especialmente como habitat de pájaros marinos. Ha sido firmada por treinta y cuatro países, incluyéndose hasta la fecha (1984) en su lista de prioridades doscientos setenta y nueve sitios que cubren un área de 19 millones de hectáreas en todo el mundo (Myers, 1984b).

- Convención que protege el patrimonio cultural y natural de la humanidad, firmada por un gran número de países, pretende proteger bienes naturales y culturales que por su trascendencia pueden considerarse como un patrimonio universal: Serengeti, - Pirámides de Egipto, Islas Galápagos, Taj Mahal, etc. (Myers, 1984).

- Convención sobre especies migratorias de animales silvestres, comprende seis tratados bilaterales, y aunque entró ya en vigor en noviembre de 1985, hasta 1984 sólo la habían firma-

do quince naciones (Myers, 1984b).

En 1980 fue lanzada la Estrategia Mundial para la Conservación (EMC) elaborada por la UICN, con la asesoría, cooperación y apoyo financiero del PNUMA y el WWF, y en colaboración con la FAO y la UNESCO.

La finalidad de la EMC es la de alcanzar los tres principales objetivos de la conservación de los recursos vivos:

- mantener los procesos ecológicos esenciales y los sistemas vitales

- preservar la diversidad genética

- asegurar el aprovechamiento sostenido de las especies y de los ecosistemas (UICN, 1980).

Cabe destacar, definitivamente, la acción de las Organizaciones No Gubernamentales (ONG'S) que tuvieron su origen probablemente en instituciones como: Sociedad Moscovita de Investigadores de la Naturaleza, Sociedad Nacional Audubón, Club Sierra, Federación Francesa de Protección de la Naturaleza, y sus congéneres en la República Federal de Alemania, Holanda, Suecia y Suiza. Se calcula que para 1972 había aproximadamente 2500, y 15,000 en 1981, de las cuales c. 5,200 estaban registradas ya en el Centro de enlace para el medio ambiente en Nairobi (PNUMA, 1982b; Tolba, 1983).

Paralelamente a este desarrollo histórico de la preocupación humana por conservar su medio ambiente y los organismos asociados al mismo, se ha desarrollado un cuerpo de conocimientos conjuntados bajo el término Ecología, que permiten hoy al hombre, conocer y comprender la magnitud de su acción perturbadora sobre los ecosistemas de la Tierra, a la vez que le proporcionan las herramientas cognoscitivas y metodológicas para ejercer la acción correctiva necesaria.

Al parecer el término ecología fue acuñado por el zoólogo alemán Ernest Haeckel alrededor de 1866 (Kormondy, 1973), a partir de la raíz griega oikos que significa habitat, hogar o lugar para vivir, y lo aplicó "a la relación del animal con su medio ambiente orgánico e inorgánico".

Los orígenes de la ecología se remontan probablemente a los tiempos primitivos ya que los hombres de aquellas épocas tenían que observar a la naturaleza y sus componentes para poder sobrevivir como recolectores, cazadores o pescadores; con el tiempo reconocieron los ciclos de vida de las plantas y aprendieron a diferenciar las comestibles de las que no lo eran, en igual forma aprendieron a usarlas para aliviar sus males y las incorporaron a sus rituales religiosos y políticos; otro tanto sucedió con los animales, de los cuales seleccionaron un grupo y lo domesticaron para enriquecer su dieta o para rendirle culto.

No obstante, los primeros registros escritos - considerando aparte los himnos védicos - aparecieron hasta la época en que se encontraba en auge la cultura helenística. Aristóteles de Estagira, fundador de la Zoología, y a quien algunos consideran el padre de la Biología, inició las investigaciones en Ecología estudiando las fluctuaciones poblacionales en las ratas, el comensalismo (forma de simbiosis) entre un molusco bivalvo, la pinna (Pinna spp.) y un pequeño cangrejo llamado precisamente pinophylax (guardián de la pinna), y observó cómo influye la temperatura en diferentes animales incluyendo al hombre, entre otras (Sarton, 1965).

Teofrasto de Ereso, discípulo y amigo de Aristóteles, se reconoce como el fundador de la Botánica, describiendo más de quinientas especies vegetales y fue él, de quien se sabe con cierta seguridad, el primero en describir relaciones entre los organismos y entre éstos y su medio ambiente (Sarton, 1965).

Pasarían casi veinte siglos antes de que Graunt describiera, en 1662, poblaciones humanas en términos cuantitativos, reconociendo la importancia de medir las tasas de natalidad y mortalidad, relación de sexos y estructura por edades, razón por la cual en justicia podríamos llamarlo padre de la demografía. Buffon en su Historia Natural (1756) incidió en muchos de los problemas ecológicos modernos y reconoció que las poblaciones de hombres, plantas y animales están sujetas a los mismos procesos. Se dio cuenta que la gran fertilidad de las especies era contra

restrada por innumerables agentes de destrucción, pensó que el control poblacional era alcanzado por medios biológicos (enfermedad o carencia de alimentos) y señaló que los conejos convertían los campos en desiertos si no fuera por sus depredadores. En 1798 Robert Malthus insistió en la relación población-alimentos, y aunque Maquiavelo en 1525 y Buffon en 1751 habían trabajado sobre estas ideas, fue Malthus quien logró influir finalmente a Darwin. En 1836 Quetelet, un estadista belga, sugirió que la habilidad potencial de una población para crecer geométricamente era balanceada por una "resistencia" al crecimiento poblacional, dos años más tarde, en 1838, uno de sus discípulos, Verhulst, derivó una ecuación describiendo el curso del crecimiento poblacional en el tiempo, lo que daba gráficamente una curva en forma de S a la que llamó curva logística.

En 1843 Farr describió la correlación que había entre la densidad de una población y su tasa de mortalidad (Regla de Farr). Una vez publicada la teoría de la evolución de Darwin/Wallace, la selección natural y la lucha por la existencia se incorporaron como muchos otros conocimientos y experiencias al cuerpo que habría de integrar posteriormente la moderna ecología; entre ellos podemos destacar los trabajos agrícolas del botánico Richard Bradley, quien en el siglo XVII nos habla ya del problema del rendimiento óptimo; los de Foskal en 1775, sobre control biológico, introduciendo una especie para controlar otra; los trabajos de Ross sobre epidemiología de la malaria, estudiando en 1890, los ciclos de vida de los mosquitos y desarrollando modelos con enfoque matemático.

El estudio de las comunidades podemos decir que se inició con el británico Edward Forbes, quien en 1844 describió la distribución de animales en aguas costeras de Inglaterra y parte del Mediterráneo; entre otras cosas, reconoció la dinámica de las relaciones entre los organismos y su medio ambiente. Ideas similares fueron expuestas en 1877 por Karl Möbius, quien estu-

diando la comunidad en un lecho de ostras introdujo el término biocenosis para describirla. El botánico danés Warming se cuestionó, en 1895, acerca de la estructura de comunidades de plantas y las asociaciones de especies que las integraban.

La dinámica del cambio vegetacional fue estudiada por H.C. Cowles, en 1899, al describir la sucesión vegetal en dunas de arena del Lago Michigan, y por Clemens en 1916 (Krebs, 1972).

Hacia 1920 R. Pearl, A.J. Lotka en 1925 y V. Volterra en 1926 desarrollaron los fundamentos matemáticos para el estudio de las poblaciones y estos trabajos condujeron a experimentos sobre la interacción depredador/presa, relaciones competitivas entre especies y de regulación de poblaciones.

En 1920, un biólogo alemán que trabajaba lagos y otros --- cuerpos de agua dulce, Augusto Thienemann introdujo el concepto de niveles tróficos o alimentarios, y en 1927 el gran ecólogo animal. C.E. Elton, desarrolló los conceptos de nicho ecológico y pirámide de números, volcando la investigación ecológica directamente al campo para estudiar los ciclos de los animales en sus habitats naturales (Smith, 1975).

En esta misma época Tansley y Chipp (1926) publicaron un libro que fue un hito en los estudios de vegetación: "Objetivos y métodos en el estudio de la vegetación"; y seis años más tarde J. Braun-Blanquet introdujo en su libro "Sociología vegetal: el estudio de las comunidades vegetales" el método de relevé, - que se ha vuelto una técnica básica que subyace en los modernos métodos de clasificación y síntesis por computadora (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974).

Mientras tanto, el reconocimiento de la territorialidad en pájaros que anidan, en 1920, condujo a investigar la influencia del comportamiento sobre las poblaciones, Konrad Lorenz y Niko Tinbergen desarrollaron los conceptos de comportamiento instintivo y agresivo, en tanto que el papel del comportamiento social en la regulación de poblaciones fue explorado por V.C. Wynne - Edwards; el éxito obtenido con estos y otros estudios, amén de la amplitud y riqueza del tema, condujo al desarrollo de la etología, ciencia que se ocupa del comportamiento animal (por cierto, el término etología fue propuesto c. 1860 por el zoólogo francés Isidore G. Saint Hilaire para "el estudio de las relaciones de los organismos dentro de la familia y la sociedad en el conjunto y la comunidad", Kormondy, 1973).



El concepto de producción primaria fue desarrollado en los años treinta por dos biólogos limnéticos norteamericanos, E. Birge y C. Juday, al medir el presupuesto energético en lagos. En 1935 A.G. Tansley propuso el término de ecosistema, y finalmente se acepta que la ecología moderna llega a la "edad adulta" cuando en 1942 un joven biólogo norteamericano, Raymond Lindeman, esbozó las principales líneas conceptuales y metodológicas que iban a permitir estudiar un sistema tan complejo, desarrollando el concepto trófico-dinámico en ecología, en que se detalla el flujo de energía a través del ecosistema (Di Castri, 1981).

No obstante se consideraba en los años cincuenta que la ecología era aún una ciencia principalmente descriptiva. Consistía de declaraciones cualitativas relacionadas a situaciones particulares que tenían bajo nivel predictivo, además de hechos empíricos y cifras que con frecuencia resistían la generalización. En las dos décadas siguientes nuevos modelos transformaron grandes áreas de la ecología en una ciencia estructurada y predictiva, que combina teorías cuantitativamente poderosas con el reconocimiento de patrones extendidos en la naturaleza (Cody y Diamond, 1975). En esta revolución que transformó a la ecología en lo que es hoy en día, han participado muchos investigadores, entre ellos: Evelyn Hutchinson, Robert McArthur, Edward O. Wilson, Joseph Connell, Robert May, Eric Pianka, John L. Harper y otros.

Después de la publicación del libro de Rachel Carson "La primavera silenciosa", en 1962, ha habido un fuerte desarrollo de la ecología ambiental o ecología humana en cuya génesis además de R. Carson participaron: Barry Commoner, Paul Ehrlich, entre otros, y más recientemente: René Dubos, Bárbara Ward, J.I. Costeau, Norman Myers, Eric Eckholm, Lester Brown y Paul Harrison.

Finalmente, hoy día podemos decir que la ecología es aquella rama de la biología, que con el auxilio de otras ciencias, estudia cualitativa y cuantitativamente las relaciones que se establecen entre los organismos y entre éstos y el medio ambiente en que viven (Bolaños, 1982). Por organismos entendemos no

solamente los enfoques tradicionales de la ecología animal y vegetal, sino que de manera comprensiva nos referimos a los otros tres reinos conocidos de la vida terrestre, en particular a la más poderosa, inteligente y brutal de las bestias que pueblan el planeta: Homo sapiens sapiens.

Resumiendo, podemos considerar que la ecología ha atravesado por cinco fases que la han enriquecido y adaptado a las necesidades actuales:

- a principios de siglo, de acuerdo a la definición de Haeckel, significó el estudio de una especie dada y de sus relaciones biológicas con el medio ambiente (autoecología)
  - hacia mediados de los años veinte se amplió su acepción abarcando entonces el estudio de comunidades y nociones como cadena alimentaria (sinecología o biocenología)
  - en los cincuenta con el aporte de Lindeman y su desarrollo por otros científicos (Lindeman murió a los veintisiete años de edad), se amplió el estudio para abarcar como una unidad todas las interacciones entre el medio físico y las especies que en él habitan
  - en los años sesenta el siguiente paso fue descubrir que las regiones más críticas, desde el punto de vista ecológico, eran las zonas de interpenetración de ecosistemas diferentes, que al reunirse como un todo conforman lo que llamamos Biósfera
  - la etapa final, actual, de este desarrollo ha sido la inclusión en el concepto mismo de ecología del papel predominante que el hombre desempeña en la Biósfera, de la responsabilidad que tiene en su evolución y, por consiguiente, de la necesidad de tomar en consideración ciertos aspectos intangibles, o no cuantificables, del espíritu humano tales como la percepción que se tiene del entorno y la manera como se concibe la calidad de la vida.\*
- Desgraciadamente en nuestro país, como en otros que no han alcanzado un nivel culto de desarrollo, muchos son los ecólogos que aún no participan de ésta última fase, a pesar de que como dice Norman Myers (1984a) :

---

\* Para un tratamiento más amplio sobre la Historia de la Ecología, ver Mc Intosh, 1985.

" Las consecuencias de nuestro impacto sobre los ecosistemas de la Tierra son ya tan extendidas y profundas que seguramente persistirán por largo tiempo en el futuro. Los productos químicos tóxicos que vertimos en el ambiente pudieran continuar su impacto venenoso mucho tiempo después de que nuestros hijos hayan muerto. Los desiertos que estamos creando serán aparentes aún por siglos. La cinta verde de bosques que rodea al Ecuador, está siendo transformada en un anillo desnudo que probablemente persistirá por milenios. El espasmo de extinción que imponemos a las especies silvestres, puede no ser resuelto en millones de años ".

En adelante, se tratará de delimitar y enfatizar los aspectos biológicos más relevantes sobre los que la acción del mamífero dominante, como lo llama McFarlane Burnet, tiene mayor peso sobre el proceso general de evolución.

## C A P I T U L O   I I

## ADECUACION E IMPACTO BIOLOGICO

La vida nunca ha podido ser comprendida dentro de una definición que satisfaga a todos los biólogos; no obstante sabemos mucho acerca de ella, los ecólogos se han dedicado al estudio de las relaciones que se establecen entre los seres "vivos" y el medio en que se desenvuelven; los etólogos hacen lo propio con el "comportamiento" de algunos seres vivos como plantas y animales; los dedicados a la anatomía, así como los taxónomos, han estudiado las formas y relaciones de más de un millón de seres vivos diferentes - en el planeta; los fisiólogos - ambos - animales y vegetales, han investigado el funcionamiento a grosso modo de los organismos; los embriólogos, el desarrollo de organismos complejos a partir de una única célula; los bioquímicos estudian las características biológicas ( de bios= vida ) - que se manifiestan durante la interacción de grandes moléculas orgánicas que constituyen la vida del planeta; los biólogos moleculares han descubierto las moléculas responsables de la reproducción y del paso de la información hereditaria de generación a generación; y los biólogos evolucionistas estudian el surgimiento de los organismos, de la vida misma, a partir de formas preexistentes en tiempos geológicos; a pesar del enorme cúmulo de información que sobre la vida nos dan estos diferentes estudiosos de la Biología, no hay un acuerdo general sobre el objeto mismo de estudio.

Ello ha conducido a que no encontremos una definición ampliamente aceptada de lo que es la vida. Hay diversas -

definiciones, de acuerdo con Sagan (1975) habría 5 tipos de definiciones de vida basados en términos comunes y científicos:

**fisiológico.** - la vida se define como cualquier sistema capaz de llevar a cabo un cierto número de funciones como: comer, metabolizar, excretar, respirar, moverse, - crecer, reproducirse y responder a estímulos externos.

**metabólico** .- describe un sistema viviente como un objeto de límites definidos que intercambia continuamente parte de sus materiales con su medio ambiente pero sin alterar sus propiedades generales, por lo menos durante un tiempo.

**bioquímico** .- esta definición ve a los organismos vivos como sistemas que contienen información hereditaria reproducible, codificada en moléculas de ácido nucleico y que metabolizan controlando la tasa de reacciones químicas por medio de enzimas.

**genético** .- un sistema capaz de evolución por selección natural, la que se desprende de la teoría de Charles Darwin sobre la selección natural; ésta señala que los organismos complejos se desarrollaron o evolucionaron a través del tiempo a partir de replicación, mutación y replicación de mutaciones.

termodinámico.- los sistemas vivientes pueden definirse como: regiones localizadas en donde hay un incremento continuo del orden.

De estos 5 tipos de definiciones, acaso el más utilizado es el primero, Weisz (1971) dice: " el significado fundamental de "viviente" puede ahora ser definido: cualquier estructura que metabolice y se perpetúe a sí misma está viva". De tal suerte que al buscar en el pasado, los investigadores del origen de la vida han terminado aseverando que asignaron propiedades "vivientes" al primero de los arcaicos ácidos nucleicos debido principalmente a que tenía propiedades reproductivas, éstas fueron legadas en sucesión interrumpida de los primeros genes a todos los genes actuales y aún forman la base de todos los eventos reproductivos de hoy en día.

La reproducción de los individuos implica un gasto energético, el cual disminuye sus "reservas", las que deben ser " repuestas" mediante la ingesta de energía disponible en el medio ambiente. Los autótrofos fotosintéticos utilizan como fuente energética de reposición la luz estelar que proviene del Sol, con ella, dióxido de carbono de la atmósfera, agua y oligoelementos del suelo ( en tierra ) o del agua ( en el mar ), las plantas fotosintetizan, almacenando energía en forma de moléculas orgánicas, generalmente carbohidratos.

Los heterótrofos se reaprovisionan ingiriendo autótrofos o bien otros heterótrofos, dependiendo del lugar que ocupen en la cadena o red trófica del ecosistema en que habitan. Así los organismos vivos obtienen la energía que

requieren, a partir de la descomposición de los alimentos, proceso realizado mediante la respiración, fuente básica de energía que mantiene todos los procesos vivientes. De la energía obtenida, parte se utiliza en la misma respiración y otras funciones del organismo y parte se "acumula", esta acumulación se manifiesta en forma de crecimiento del organismo por medio de la síntesis, la cual convierte a los nutrientes en nuevas partes estructurales, este proceso generalmente se da previo a la reproducción, de tal manera que el organismo "acumula" energía para invertirla posteriormente en la autoperpetuación. Así, nacimiento, metabolismo (que comprende: nutrición, respiración y síntesis) y reproducción, son cualidades comunes a los seres vivos del planeta.

Aquí se considera a la reproducción como la característica más relevante biológicamente hablando, debido a que la vida, como la conocemos, lo ha determinado así en el largo proceso evolutivo que llevó de los primeros ácidos nucleicos (protoorganismos) a plantas y animales superiores y al mamífero dominante que hoy en día se enseña destruyendo el planeta que le dio vida.

De no haberse presentado reproducción, los organismos originales o bien hubieran desaparecido, o bien serían matu salenes ultrabíblicos de 3,000 a 3,500 millones de años, lo que a pesar de la gran permanencia de la materia viviente y de su capacidad de autocontrol parece poco plausible, así no habría habido evolución y por supuesto tampoco radiación adaptativa, ni conquista de la tierra por los organismos acuáticos, en otras palabras, la vida en la Tierra no sería

como la conocemos hoy en día. El hecho extraordinario es que sí hubo reproducción, el proceso permitió la manifestación de la diversidad viviente a través de dos grandes causales del proceso evolutivo: mutación y recombinación genética. Ambos condujeron la vida a una explosión de riqueza en la diversidad de formas y estrategias de vida - que se antoja infinita, aunque sabemos hoy que es probable que su número se ubique entre 5 y 10 millones de organismos "diferentes", de especies, aunque estudios recientes de T.L. Erwin con insectos de selvas tropicales, indican - que tan sólo de estos organismos podría haber c. 30 millones de especies (Myers, 1984b).

La reproducción destaca evolutivamente como uno de los aspectos biológicos más relevantes de la vida en el planeta, a pesar de que como dice Sagan (1975) "la replicación en sí, no confiere un beneficio obvio al organismo que se replica", no obstante, la reproducción o autorreplicación "asegura" la perpetuación, la continuidad de la vida y de su diversificación sobre la Tierra. Y constituye un fin - en sí misma en la naturaleza (Ehrlich, 1986).

La reproducción es una parte esencial del proceso de - selección natural, ya que la selección de genes no podría operar a menos que hubiera una transferencia regular ( -- usualmente a través de espermatozoides y huevo) de una generación a otra. Por lo tanto la reproducción vista como una sucesión de generaciones es una condición absoluta para la -- selección natural. La selección dice Futuyma (1986), es la reproducción y sobrevivencia diferenciales. La reproducción diferencial de los genotipos, añade Ehrlich (1986), es la - fuerza básica conductora de la evolución.

Bonner (1980), citando a Richard Dawkins dice: " el gene es el importante, en tanto que hablemos de selección natural " y continúa: " los genes son los replicadores y el - fenotipo ( suma de todas las estructuras visibles ---



que componen un organismo) es la máquina de sobrevivencia ", así de acuerdo con las ideas de Dawkins de su -- " gene egoísta " el soma de los organismos es utilizado por el gene para autopropetuar de la mejor manera posible. Cada organismo sólo puede ser verdaderamente representado por su ciclo de vida completo, el cual comprende su patrón de toda la vida de: crecimiento, diferenciación, almacenamiento y, especialmente, reproducción (Begon et al., 1986). Es decir, que la reproducción puede considerarse como uno de los aspectos más relevantes de la vida de los organismos. Los que han evolucionado una extraordinaria diversidad de formas de reproducción; a grandes rasgos éstas comprenden dos procesos fundamentales (vogel y Angerman, 1979): división y unión celular (ésta última como resultado de la sexualidad) - que incluyen:

- División binaria en protistas
  - simple (amibas)
  - longitudinal (flagelados y diatomeas pinnadas)
  - transversal (bacterias polarizadas, algas azules e infusorios)
- Gemación (levaduras, ciliados parásitos y algunos suctores)
- División múltiple (en muchos flagelados, rizópodos y esporozoos)
- Formación de células reproductoras específicas
  - esporas (talofitas, briofitas, helechos, algas y hongos)

Todos estos procesos están comprendidos en la reproducción asexual monocitógena (a partir de una sola célula corporal), opuestamente a ella se da la reproducción policitógena o policelular, en las plantas hay dos formas principales:

- En ausencia de órganos reproductores particulares
  - fragmentación de células alineadas (algas azules)
  - fragmentación del talo (Caulerpa, un alga sifonal)

- reproducción por esquejes o enraizamiento de ramas en contacto con el suelo (zarzas y múltiples ejemplos de la horticultura)
- En presencia de órganos reproductores
  - formación de propágulos (talofitas como la hepática Marchantia polymorpha)
  - yemas radicales a partir de la raíz (espermatofitos, Acedera y Euphorbia spp)
  - estolones formados a partir de ramas laterales (superficiales como Fragaria spp. y Ajuga reptans, y subterráneos como Phragmites spp. y Carex arenaria).
    - forman tubérculos (Solanum tuberosum)
    - bulbos de propagación (Allium cepa)
    - bulbilos caulinareos y radiculares (Polygonum)
    - bulbilos foliares, a partir de las hojas (helechos, ciertas crasuláceas y saxifragáceas)

En los animales, la reproducción asexual comprende:

- División de los embriones que conduce a la formación de gemelos univitelinos (en el hombre, Lumbricus - trapezoides y tatúes)
- División y gemación de formas larvárias (celentéreos, céstodos)
- División y gemación en los organismos adultos (celentéreos y gusanos)
- División transversal y longitudinal o arquitomía (hidra de agua dulce)
- División a partir de regeneración de órganos o paratomía (poliquetos)
- Gemación (esponjas y celentéreos)
  - estolonización (pólipos y tunicados)

La reproducción sexual conlleva una serie de consecuencias importantes, no sólo asegura el incremento en el número de individuos de una población particular, sino que también - asegura la renovación constante de la combinación genética del acervo hereditario de la población. Comprende en general dos fases:

- producción de células reproductoras, gametos haploides ( $n$  cromosomas)
- fusión de dos gametos de sexo diferente, durante la fecundación, que determina la formación del huevo o cigoto diploide ( $2n$  cromosomas).

Estas fases de la reproducción sexual son comunes a todos los organismos excepto en las bacterias. Los gametos - pueden ser de igual tamaño (isogamia) o uno puede ser ligeramente mayor que el otro (anisogamia). La mayoría de los organismos presentan huevos grandes y espermias pequeños. El espermia en general es móvil y el huevo sésil, excepto en - las plantas superiores en las que el espermia es llevado en granos de polen (por el viento, insectos, u otro medio de - transporte o dispersión) que se unen al estigma (estructura femenina) de la flor y desarrollan tubos espermáticos que - descienden al núcleo del huevo en el ovario para fecundarlo.

Algunos organismos, como la mayoría de las plantas con flores, gusanos de tierra y tunicados, son bisexuales (es - decir hermafroditas o monoicos); en ellos ambos gametos, - masculino y femenino, son producidos por el mismo individuo. Todos los demás organismos, incluyendo algunas plantas (árboles como el Ginkgo) y todos los animales vertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) son unisexuales

(dioicos), los gametos son producidos por individuos separados o independientes. Algunos organismos de reproducción sexual revierten parcialmente al modo asexual mediante una degeneración periódica del proceso sexual (Bonner, 1975), por ejemplo: en áfidos y en muchas plantas superiores, el huevo puede desarrollar un nuevo individuo sin fertilización de por medio, éste es un tipo de reproducción llamado partenogénesis. Otros aspectos importantes de la reproducción son:

- si el organismo tarda en reproducirse o lo hace precozmente
- si produce a todos sus hijos en un solo evento (organismos semélparos), o si los produce en eventos separados (organismos iteróparos) después de cada uno de los cuales el organismo se mantiene en condiciones que favorezcan su sobrevivencia para reproducirse nuevamente
- entre estos últimos, el número de camadas o nidadas separadas de hijos puede variar, y en esta situación la fecundidad se incrementará al incrementarse el número de camadas o nidadas
- puede variar también el número de hijos en una camada o nidada, y en este caso la fecundidad se incrementará al incrementarse el tamaño de la camada o nidada
- los hijos individuales pueden variar de tamaño, por ejemplo, puede variar la cantidad de recursos destinados por sus padres a su producción

- el número de hijos de buen éxito producidos por un progenitor, se incrementará con frecuencia -- al incrementarse su tamaño, lo que dependerá -- también de los recursos invertidos en su producción (Begon et al., 1986).

Sin ser exhaustiva, la anterior revisión de las formas y otros aspectos relevantes de la reproducción, nos da una idea de la diversidad de estrategias que los seres vivos han alcanzado en el proceso evolutivo para asegurar la continuidad de la vida a través de generaciones sucesivas.

Los organismos se organizan en poblaciones, Pianka (1974) llama poblaciones mendelianas a aquellos grupos que presentan un sustancial intercambio genético. Las poblaciones experimentan varios aspectos dinámicos, el más importante de ellos es el crecimiento, o sea, la capacidad de incrementar el número de individuos. Sin caer en un análisis detallado del crecimiento, restringido o no, de una población, nos interesa destacar los elementos fundamentales del mismo. La tasa intrínseca de incremento natural llamada también parámetro malthusiano y designada en general por la letra  $r$ , se define como la tasa instantánea de nacimientos por individuo ( $t_n$ ) menos la tasa instantánea de mortalidad ( $t_m$ ), no obstante, las poblaciones están sujetas a flujos poblacionales de individuos que se añaden provenientes de otras poblaciones de la misma especie e individuos que abandonan la población original, así  $r = (t_n + \text{inmigración}) - t_m + \text{emigración}$ . Cuando los naci -

mientos per capita exceden a las muertes, es decir, cuando la  $t_n$  es mayor que la  $t_m$  entonces la población crece y se dice que  $r$  es positiva, cuando las muertes exceden a los nacimientos la  $t_m$  es mayor que la  $t_n$  y entonces la población disminuye y se dice que  $r$  es negativa.

Así, la tasa de crecimiento de una población se expresa como " el número de individuos en que aumenta la población, dividido por el tiempo que transcurre mientras este incremento tiene lugar (Bougey, 1973), según la ecuación diferencial  $dN/dt = rN$ , en donde  $N$  representa el número de individuos en la población,  $t$  el tiempo y  $r$  la tasa intrínseca de incremento.

Cuando una población se desarrolla en un medio ambiente libre de restricciones al crecimiento, ya sean físicas o bióticas, la población puede presentar una tasa intrínseca de incremento máxima ( $r_{m\acute{a}x.}$ ) lo que se conoce como potencial biótico de la población. Sin embargo, es poco probable que en condiciones naturales se presente tal situación, puede ocurrir que un organismo exótico sea introducido a un ambiente libre de las restricciones impuestas por su ambiente original, no obstante, de darse este caso, llegará un momento en que la misma densidad de la población en crecimiento (exponencial) empezará a ejercer tal demanda sobre los recursos del medio que necesariamente alcanzará un límite al crecimiento llamado irrestricto (Andrewartha y Birch, 1954); es decir que el ambiente mismo impondrá restricciones al incremento y la población tenderá a regular o detener su crecimiento, a ello se le llama resistencia ambiental y se representa en la ecuación de crecimiento por la letra  $K$ , indica la capacidad de acarreo o soste-

cimiento máximo poblacional que permiten las condiciones ambientales vivas e inertes, renovables y no renovables, de un ecosistema particular. Es decir, que en condiciones naturales las poblaciones no pueden exceder permanentemente tal valor y tienden a oscilar en torno al mismo alcanzando un equilibrio y estabilizando el número de individuos de la población; así, cuando  $r=0$ ,  $t_m = t_n$  y entonces  $N = K$ . En la ecuación logística se representa como:

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{K - N}{K}$$

Ello no significa necesariamente que la ecuación logística explique el crecimiento de todas las poblaciones de la Tierra (Bougey, 1973). Asimismo la ecuación, que fue propuesta originalmente por Verhulst en 1845 y por Pearl en 1925, plantea tres suposiciones graves y poco realistas (Pianka 1974):

- que todos los individuos son equivalentes
- que  $r$  máx. y  $K$  son constantes inmutables y
- que no hay retraso temporal en la respuesta a la tasa real de incremento por individuo al cambiar  $N$

A pesar de ello, la ecuación resulta útil para entender un cierto número de fenómenos poblacionales, como  $r$  y  $K$ ; otros autores (Krebs, 1972; Poole, 1974 y Roughgarden, 1979) han trabajado ampliamente el tratamiento de las ecuaciones que describen el crecimiento poblacional por lo que no me extenderé más.

Los organismos participan de manera diferente en el crecimiento poblacional, no todos producen el mismo número de descendientes y no todos los descendientes de un individuo sobreviven en la población; podemos dividir a los organismos que integran una población, de acuerdo con su edad, en relación a la reproducción individual, así tenemos tres grupos claramente definidos:

- individuos prerreproductivos o inmaduros llamados también juveniles
- individuos reproductivos o fecundos
- individuos posreproductivos o infecundos

esta división es fundamental, ya que además de proporcionar elementos para estructurar la población nos permite conocer, en un momento dado, el número de individuos que se encuentran en cada una de las instancias y de allí derivar el futuro demográfico de ese grupo particular (siempre y cuando las demás condiciones se mantengan constantes); basta decir que cuando el número de individuos jóvenes excede con creces a los otros dos, la población está en crecimiento y ello debe correlacionarse con la capacidad de acarreo ambiental, por otra parte, cuando el número de organismos posreproductivos es mayor que las otras dos categorías la población tiende a declinar, y a no ser que se ejerzan ajustes, probablemente se extinguirá. La duración de estos períodos varía mucho según las especies (Dreux, 1975).

Así pues, los organismos que integran una población se reproducen generalmente sólo dentro de un período determinado de su ciclo de vida y dentro de él cada individuo hace un aporte diferente de energía al proceso en su conjunto,



es decir, que dependiendo de la edad a la que se reproduzca un individuo particular de la población tendrá un mayor o menor éxito reproductivo entendido este como: " el número de hijos sobrevivientes de un individuo" (Wilson, - 1975).

Fisher (1958) introdujo un concepto útil para entender este proceso, dijo que el valor de los hijos futuros de un organismo en relación a su propio valor actual determina el valor reproductivo de ese organismo, el que a su vez, puede determinar el buen éxito con el que ese organismo se reproduce en la población.

El valor de los hijos futuros dependerá de la edad a la cual el organismo en cuestión se reproduce. Si retiramos a un animal viejo de una manada, cuando ha pasado ya su período reproductivo, la pérdida poblacional para la siguiente generación será nula, a menos que el animal perteneciera a un grupo social y desarrollara una labor en él (Wilson, 1975), o bien realizase una labor altruísta. En cambio, si removemos de la población a una joven hembra justo en el momento en que estaba por iniciar su etapa reproductiva, y considerando en ella un valor de fecundidad promedio, el efecto se dejará sentir de manera considerable en la siguiente generación. Debemos recordar - que demográficamente hablando ( en especies de reproducción sexual) las que cuentan son las hembras de una población, de tal manera que el valor reproductivo estará determinado por el número de hijas que cada hembra en edad reproductiva espera aportar a la siguiente generación.

El valor reproductivo es una medida de los efectos -- combinados de la fecundidad y la sobrevivencia, que considera la contribución proporcional del individuo al futuro de la población (Begon et al., 1986).

Para calcular el valor de la reproducción futura de un organismo hay que tener en cuenta la posibilidad de que ese organismo pudiera no sobrevivir a la edad reproductiva para llegar a producir todos los hijos de que es capaz y, considerar también, la posibilidad de que la población -como un todo- ha crecido o se ha reducido en el mismo período.

Así, de acuerdo con Fisher (1958) el valor de un hijo - en una población total de  $n$  individuos es igual a  $1/n$ , pero si la población crece mientras se desarrolla el individuo y antes de que se reproduzca, llegado el momento del apareamiento el valor de sus hijos se habrá reducido  $1/n + 1$ . Contrariamente si la población disminuye, la reproducción futura puede ser de mayor valor que la reproducción actual debido a su mayor contribución proporcional (Begon et al., 1986).

El valor reproductivo de un recién nacido, es decir a la edad 0 es de 1, al crecer el individuo el valor se incrementa durante la etapa reproductiva hasta un valor máximo para declinar después hasta cero en la etapa infecunda (Roughgarden, 1979). De esta manera, el valor reproductivo de un individuo es su esperanza total reproductiva a través de toda su vida (Begon et al., 1986).

El valor reproductivo representa pues la relevancia que cada individuo tiene en su contribución demográfica a la población, éste varía ampliamente entre los organismos, en las plantas por ejemplo, el gasto de energía invertido en la reproducción a través de todo el ciclo de vida del individuo -varía entre 0 y 40% (Harper et al., 1970). Las plantas anuales tienden a invertir más energía en la reproducción que la mayoría de las plantas perennes, Harper et al. (1970), estimaron estos valores en cerca de 14-30% y 1-24% respectivamente.

No sólo las plantas sino también los animales presentan diferentes estrategias de distribución de sus recursos energéticos. Nuevamente fue Fisher (1958) uno de los primeros en considerar esta situación cuestionándose sobre los factores fisiológicos y ambientales que determinan dicha distribución. Los tejidos corporales o somáticos son esenciales en la adquisición de materia y energía para un individuo, considérense por ejemplo los robustos troncos y largas ramas de los árboles dominantes del dosel en una selva tropical, pero al mismo tiempo, el soma de un organismo no tiene en sí valor selectivo a no ser que contribuya durante toda la vida fecunda del organismo a la producción de hijos de buen éxito reproductivo. Esto implicará que a mayor inversión de recursos del organismo en la reproducción, menor será la sobrevivencia del soma; entre los animales el ejemplo extremo de ello lo encontramos en muchos insectos y el salmón, entre las plantas en los cultivos "anuales" del hombre, el organismo en estos casos, una vez alcanzada cierta inversión de energía en el soma, dedica la restante a la reproducción y después muere. Se establece entonces una relación inversamente proporcional entre reproducción y sobrevivencia del soma. Por ello Wilson (1975) ve al esfuerzo reproductivo como aquel requerido por el organismo para reproducirse, medido en términos de la disminución en su habilidad para una ulterior reproducción. Por lo tanto, un individuo con alta probabilidad de éxito reproductivo futuro, no arriesgará su soma en actividades reproductivas inmediatas o presentes, lo contrario sucede con los organismos de baja posibilidad de éxito reproductivo futuro. Los beneficios alcanzados ya sea por una reproducción retardada o por una reproducción precoz, alcanzan un punto en el cual, la selección natural favorece un beneficio bruto óptimo que maximice el beneficio neto obtenido por el organismo (Begon et al., 1986).

Cuando el valor reproductivo de un organismo disminuye debido a la variación de algún valor ambiental limitante, o bien debido a que el organismo se acerca al final de su etapa reproductiva, la mejor estrategia será invertir el máximo de energía en la reproducción de tal forma que aumente su esfuerzo reproductivo. De esta manera se establece una relación inversa entre ambos: si el valor reproductivo aumenta, el esfuerzo reproductivo deberá disminuir pero si el valor reproductivo disminuye, entonces el esfuerzo reproductivo deberá aumentar.

Es innegable que la estrategia reproductiva por la que opte el organismo estará condicionada en gran forma por el ambiente físico y biótico en que se desarrolle, los factores abióticos, físicos y químicos del ambiente comprenden en general: espacio (habitat\* o territorio, intervalo habitacional), luz, temperatura, humedad y en el caso de las plantas, nutrientes en el suelo; se entiende que el espacio geográfico o biótomo comprenderá para diferentes organismos: sitios de anidación, áreas de caza o forrajeo (ramoneo), sitios de fijación o sustratos, guaridas, etc., los factores bióticos comprenden esencialmente la competencia y la depredación, aunque el parasitoidismo puede adquirir gran relevancia para ciertos organismos.

Así en medios altamente enrarecidos, en donde existan muy pocos organismos (tundra ártica) la mortalidad estará regulada generalmente por las condiciones físicas, es decir por factores independientes de la densidad, ya que la competencia y la depredación son nulas (Andrewartha y Birch, 1954). En cambio, en medios ambientes saturados de organismos, con

---

\* El ciclo de vida exacto favorecido por la selección natural depende del habitat del organismo en cuestión, por lo tanto, el habitat juega un papel crucial en modelar los ciclos de vida. No obstante, cada habitat como cada ciclo de vida es único (Begon et al., 1986).

grandes poblaciones (Serengueti), la mortandad de los organismos dependerá sobre todo del número de organismos presentes y de sus interacciones, es decir, será dependiente de la densidad.

Dobzhansky propuso en 1950, basado en observaciones del tipo de las anteriores, que en las zonas tropicales del planeta la selección natural opera en forma fundamentalmente diferente a como lo hace en las zonas templadas (Pianka, - 1970). En éstas, decía, gran parte de la mortalidad es relativamente independiente del genotipo ( y del fenotipo) del organismo y tiene poco que ver con el tamaño de la población; recordemos que en estas regiones las estaciones del año están bien delimitadas y hay cambios bruscos en las condiciones físicas del ambiente: temperatura, velocidad del viento y humedad. No obstante, en las condiciones climáticas relativamente estables de las regiones tropicales, la mayor parte de la mortandad es dirigida y " favorece" a aquellos individuos con mejores habilidades competitivas. Así en zonas templadas la selección favorece con frecuencia alta fecundidad y rápido desarrollo, mientras que en las regiones ecuatoriales son seleccionadas la baja fecundidad y un lento desarrollo que pueden incrementar la habilidad competitiva. Pasarían 17 años antes de que Mac Arthur y Wilson acuñaran, en 1967, los términos " selección r " y " selección K " para estas dos clases de selección, mismas que hoy sabemos no son privativas de los trópicos o de las zonas templadas (Mac -- Arthur y Wilson, 1967).

Imaginemos una especie que se enfrenta a un ambiente de "vacío competitivo" (Pianka, 1974) y con recursos "efímeros"

( Wilson y Bossert, 1971), su mejor estrategia reproductiva será poner la mayor parte o toda su energía en la re producción, de tal manera de "poblar" rápidamente el espa cio con grandes familias de su propia progenie (Mac Arthur y Wilson, 1967), debido a la falta de competencia los hi - jos pueden prosperar para a su vez reproducirse, a pesar - de que generalmente son de talla pequeña y " bajo costo -- energético". Es decir, que dicha especie apelaría a una - alta tasa intrínseca de incremento y en tales circunstan - cias los genotipos de elevado valor en la población serían constantemente favorecidos, es por ello que a este tipo de individuos se les llamó estrategias  $r$  y el proceso se conoce como selección  $r$ .

En otra situación completamente diferente una especie se enfrenta a un ambiente de alta densidad en donde su pro pia población y la de las especies con quienes interactúa se encuentran en o cerca de la capacidad de acarreo,  $K$ , la competencia es aguda y no es ventajosa una  $r$  elevada, en - este caso, la mejor estrategia reproductiva es canalizar - la mayor parte de la materia y energía disponibles al cre - cimiento y mantenimiento de un soma altamente competitivo, y producir en su oportunidad hijos con habilidades competi - tivas sustanciales, ello requiere la producción de hijos - grandes, costosos energéticamente hablando, por ello se - producen en pequeño número, estos individuos son llamados estrategas  $K$  en un proceso de selección  $K$ .

Por supuesto las dos formas de selección no pueden ser mutuamente excluyentes y coexisten en mayor o menor medida

a lo largo de la evolución de un ecosistema particular; - en realidad, al alcanzar éste cierto grado de maduración, lo que resulta en poblaciones estables con individuos de vida larga, debe haber un decrecimiento evolutivo en  $r$  - (Wilson y Bossert, 1971).

De acuerdo con Pianka (1970) los vertebrados terrestres y las plantas perennes parecen seleccionados  $K$  relativamente hablando, mientras que los insectos, en su mayoría, y tal vez los invertebrados terrestres en general y las plantas anuales, son aparentemente seleccionados  $r$ .

Los organismos acuáticos no parecen obedecer a esta generalización, los peces en particular se extienden a lo largo del continuo  $r$  -  $K$ . No existen ciertamente organismos que sean completamente seleccionados  $r$  o  $K$ , más bien podemos pensar en un continuo de selección, en un gradiente que va desde  $r$  hasta  $K$  a lo largo del cual se ubican los organismos de un medio ambiente particular, en un tiempo específico de su ciclo de vida, esta temporalidad estará dada por la consistencia de las condiciones particulares de un ecosistema.

Solbrig, en 1971, probó esta teoría usando poblaciones de Taraxacum officinale L. sensu lato en una serie de experimentos que llevó a cabo en forma comparativa en el Jardín Botánico Mathel en Ann Arbor, Michigan, encontró valores que iban desde  $r$  hasta  $K$  para diferentes grupos experimentales, al variar las condiciones ambientales de crecimiento de las plantas (Solbrig, 1971),

En general podemos señalar que en medios ambientes heterogéneos, sujetos a perturbaciones inesperadas, catástroficas, o bien después de la perturbación de un ecosistema maduro en equilibrio (comunidad clímax), se presentarán condiciones favorables para el desarrollo de los estrategas r, mientras que, los medios ambientes homogéneos, estables, favorecerán la implantación de estrategas K.

Uno de los problemas relevantes que surgen del uso de la selección r y k radica precisamente en su aplicación generalizada, en forma hasta cierto punto indiscriminada. De acuerdo con Begon, Harper y Townsend (1986) el concepto, en realidad, es sólo un caso especial de la clasificación general de habitats demográficos propuesta por los mismos autores, ver apéndice I.

No obstante, además de que el concepto de selección r y k ha sido muy influyente en la búsqueda de patrones de ciclos de vida, puede ser - y de hecho es - útil para describir algunas de las diferencias generales entre taxones. Por ejemplo, podemos considerar como seleccionados k a los vertebrados superiores y como seleccionados r a los insectos. Lo mismo puede decirse de algunos grupos de plantas en ambientes seleccionados relativamente r o k.

Sin embargo, los organismos de crecimiento modular -- (corales ramificados, o hierbas que se reproducen mediante clones) no caen en esta clasificación general, ya que el crecimiento modular da al genotipo el potencial para incrementarse exponencialmente en tamaño, incrementando su número de módulos. En este caso, el retraso en la reproducción no retarda necesariamente el crecimiento poblacional (Begon et al., 1986).

También existen muchos casos en los cuales poblaciones de una especie, o de especies relacionadas cercanamen



te a aquélla, han sido comparadas y se han relacionado -- consistentemente con el esquema  $r$  y  $k$ ; por ejemplo, los estudios de Mc Naughton con Typha domingensis y T. angustifolia, o de Law et al. con Poa annua, ambos citados por Begon et al. (1986). Asimismo estos autores señalan que -- "en términos generales, las plantas muestran cierta conformidad con el esquema  $r/k$ ". Sin embargo, en 1977, Stearns, citado por Begon et al. (1986), encontró en una amplia revisión de los datos disponibles (a su alcance) en ese momento, que de 35 estudios minuciosos, 18 se conformaban al esquema mientras que 17 no lo hacían. Estos resultados -- pueden verse desde dos puntos de vista:

- como una crítica condenatoria de las limitaciones -- del concepto  $r/k$
- como muy satisfactorios, en el sentido de que un concepto relativamente simple pueda alcanzar a dar sentido a una gran proporción de la multiplicidad de ciclos de vida (Begon et al., 1986)

De hecho, no podemos descartar el concepto  $r/k$  debido a su validez al interpretar los ciclos de vida de la mayor parte de las especies vivas de la Tierra; lo que sí podemos señalar son algunos casos en que los ciclos de vida particulares no se apegan al esquema  $r/k$ , entre ellos:

- aquellos organismos en que el costo reproductivo puede ser mayor que su correspondiente gasto energético reproductivo (por ejemplo, los estudios con lagartos de Vit y Cougdon en 1978, citados por -- (Begon et al., 1986).
- la importancia de las fuerzas demográficas más allá -- del esquema  $r/k$  de acuerdo con la clasificación de habitats propuesta por Begon, Harper y Townsend (1986); aquí hay dos aspectos que deben destacarse:

- 1) los habitats de los adultos y de sus hijos no tienen por qué correlacionarse con el esquema  $r/k$  (organismos  $r$  o  $k$  en habitats seleccionados  $r$  o  $k$ )
- 2) las características del ciclo de vida asociadas con el esquema  $r/k$  pueden surgir por razones más allá del esquema mismo, por ejemplo : la depredación de adultos pequeños como opuesta a la competencia intensa entre adultos, o bien la mortalidad de hijos de gran talla como opuesta a la fluctuación entre períodos benignos y la mortalidad indiscriminada, etc. - (Begon et al., 1986).

Así, de acuerdo con estos autores, las fuerzas demográficas pueden ser poderosas en su habilidad para explicar patrones de ciclos de vida, pero estas fuerzas no necesitan estar limitadas a la dicotomía  $r/k$ .

El ciclo de vida no es una propiedad que presente un organismo independientemente de las condiciones ambientales prevalentes. Un ciclo de vida, tal y como se observa en la naturaleza, es el resultado de fuerzas evolutivas a largo plazo, pero también de las respuestas inmediatas al ambiente en el cual se vive y se ha vivido.

Diversos ejemplos, a partir de los estudios de Lovett-Doust (1980) con la umbelífera Smyrnum olusatrum, y de Woolhead (1983) con los gusanos planos Bdellocephala punctata y Dugesia lugubris, ambos citados por Begon et al. (1986), señalan que con frecuencia los ciclos de vida reflejan la respuesta inmediata de un organismo a sus ambientes pasados y presentes.

En algunos casos, estas respuestas pueden, por sí mismas, ser vistas como propiedades del ciclo de vida que son favorecidas en ambientes sujetos a variabilidad y cambio. Cualquiera que sea la naturaleza de la respuesta, es

claro, que todos los organismos son capaces de presentar un intervalo de ciclos de vida, por lo que la comprensión de estas respuestas es por lo tanto esencial para entender verdaderamente los patrones de ciclos de vida, toda vez que éstos son respuestas a la totalidad del ambiente de un organismo.

Los ciclos están restringidos por diversas causas, entre ellas por las posibilidades de desarrollo disponibles para un organismo particular, es decir, por la posición filogenética que ocupe el organismo; nos referimos a restricciones de diversos tipos, por ejemplo, las relaciones alométricas, en las que una propiedad física o fisiológica varía con el tamaño del organismo en forma tal, que hay un cambio en la propiedad en relación al tamaño de aquél. Estas relaciones pueden ser autogenéticas (cambios que ocurren al desarrollarse el organismo), o filogenéticas (cambios que son aparentes cuando se comparan taxones de diferente tamaño), éstas últimas son particularmente importantes en el estudio de los ciclos de vida.

Las alometrías pueden conducir, en sí mismas, a variaciones en el ciclo de vida que afectan a todos los componentes de la historia vital, o a todos los niveles taxonómicos, y constituyen una fuente poderosa de restricciones filogenéticas (Begon *et al.*, 1986).

Calow y Townsend (1981) dicen que el concepto de  $r/k$  ha sido enormemente influyente en el desarrollo de las ideas, pero es inadecuado para explicar completamente el fenómeno de los ciclos de vida\*. De hecho, el propio MacArthur (1972) señaló que la división  $r/k$  no era de ninguna manera la única posible, y dijo: "Podemos hablar de selección joven vs selección vieja, o de selección de escape al depredador vs selección para la capacidad de alimentarse, y así por el estilo" (Calow y Townsend, 1981).

---

\*"Los ecólogos disfrutaban una curiosa relación de amor/odio con el concepto  $r/K$ , pretendiendo desaprobarlo con frecuencia mientras que lo encuentran indispensable" (Dawkins, 1982).

Habiendo señalado algunas de las restricciones más aparentes a la aplicación general del esquema  $r/K$ , y considerando que en todo caso, éste es aún de gran utilidad y aplicación en el estudio de los ciclos de vida de muchos organismos, podemos relacionar ahora: valor reproductivo, esfuerzo reproductivo y estrategias de reproducción  $r$  y  $K$ . Teniendo en cuenta las restricciones a que nos hemos referido en párrafos anteriores, podemos decir que en términos generales, los organismos que se encuentran en ambientes predecibles verán favorecida una reproducción retardada y múltiple (estrategas  $K$ ), de tal forma que su valor reproductivo será alto y su esfuerzo reproductivo pequeño. Por el contrario, en los organismos que se enfrentan con ambientes inciertos, la selección favorecerá una reproducción temprana y única (estrategas  $r$ ), y por lo tanto su esfuerzo reproductivo será máximo y su valor reproductivo ínfimo.

Todas estas características reproductivas que estudiamos en los seres vivos, gravitan en torno a un concepto central de la Ecología y de la Genética de Poblaciones, la adecuación de los organismos.

Cada individuo biológico tiene una naturaleza dual, posee un genotipo (dotación o constitución genética) y un fenotipo (organismo que resulta de la expresión física del genotipo). De esta forma el fenotipo se convierte en el portador de la herencia genética de ese organismo, la vía mediante la cual el gene produce más genes (Calow y Townsend, 1981). Harper (1977) señala que la planta es el medio por el cual, la semilla produce otra semilla,

El fenotipo es una unidad que debe adquirir recursos para transformarlos en productos reproductivos, mientras se mantiene a sí mismo enfrentando la depredación y otros riesgos ambientales (Calow y Townsend, 1981); y compete con otros fenotipos por el buen éxito en la reproducción (Mayr, 1978), éste depende no

sólo de la constitución genética del organismo, sino que es el resultado de diversas interacciones con el ambiente físico y con los organismos que integran la comunidad a la que pertenece, y define, la eficacia biológica o adecuación del organismo.

El término adecuación fue propuesto por Darwin originalmente en un sentido cotidiano, adecuado para él, significaba bien adaptado y cualquier cosa que mejorara la oportunidad para sobrevivir en la lucha por la existencia incrementaba la adecuación, que ha sido llamada también valor adaptativo o selectivo. Así, para Darwin, la adecuación era característica del individuo en su totalidad. No obstante, a principios de siglo con el desarrollo de la genética matemática por parte de Haldane, Fischer, Wright, etc. se redefinió la adecuación refiriéndola al gene en particular como: la contribución al depósito genético de la siguiente generación, ya sea que se debiera a una mayor adecuación en el sentido darwinista o a ventajas reproductivas que no añaden más a la adaptación de la especie -- (Mayr, 1976). La adecuación es una función de la eficiencia reproductiva, de modo que los portadores de algunos genotipos transmiten sus genes a la siguiente generación con más frecuencia de lo que lo hacen los portadores de otros genotipos (Dobzhansky et al., 1977).

Creemos que puede asumirse con seguridad, que la selección natural tiende a producir organismos que son máximamente efectivos para propagar genes y para realizar otras actividades que sirven a la misma función, tales como forrajear, defenderse, almacenar grasa, crecer, etc. (en tanto todas -

ellas sean compatibles). Estos son subcomponentes de la adecuación y se pueden denominar como la medida fenotípica de la adecuación (Calow y Townsend, 1981). La adecuación no es una característica absoluta, describe la contribución relativa al depósito genético de la siguiente generación que hace un organismo, comparado con otros (Fisher, 1958; Mayr, 1976; Harper, 1977; Begon et al., - 1986). Dawkins (1982), considera que el término adecuación es confuso "en sí mismo" e incluso habla de su "agnia", ver apéndice II.

La adecuación de un individuo depende tanto de su fertilidad, habilidad para producir prole, (Robles, 1971) como de su viabilidad, habilidad para sobrevivir, (Roughgarden, 1979); y está determinada no sólo por su status dentro de su propia población sino también por las diferentes asociaciones interespecíficas de su especie y especialmente por la comunidad en que se encuentra (Pianka, 1974). Así, la adecuación de un organismo se determina por la interacción entre su fenotipo y la totalidad de su medio ambiente.

En los organismos de selección K, la adecuación está grandemente determinada por el ambiente biótico, especialmente por la posición de un individuo dentro de su propia población, mientras que la adecuación de los organismos de selección r, es menos dependiente del ambiente biótico y más fuertemente influida por el ambiente físico-químico.

La selección natural opera sobre los individuos de una población y favorece selectivamente a aquellos fenotipos y genotipos que contribuyen proporcionalmente con el mayor número de descendientes a las generaciones subsecuentes. Esta contribución se ve afectada por todos los componentes de la historia de vida de un or-

ganismo incluyendo la sobrevivencia (Begon et al., 1986). No obstante la adecuación no puede ser igualada solamente con el número total de hijos, ya que hay que considerar aspectos no energéticos que deben tomarse en cuenta; entre otros participan: el sistema de apareamiento y la estructura genética de la población (Solbrig, 1981).

El proceso conduce implacablemente a un incremento en la población, de aquellas formas que contribuyen con más prole que sus vecinos (Harper, 1977) de tal forma, que la selección natural actúa para optimizar las variaciones en la capacidad reproductiva maximizando la adecuación individual, y favorece a aquellos que son los más adecuados de entre los disponibles en una población particular (Begon et al., 1986).

Mayr (1976) señala que la selección natural es medida en términos de la contribución que hace un genotipo a la composición genética de la siguiente generación, es decir, en términos de la adecuación de los organismos. Pero, ¿cómo se da esta relación entre adecuación y selección natural? No todos los organismos tienen el mismo valor de adecuación. Darwin llamó a los organismos que tenían más hijos, los más adecuados (o aptos) y dijo que éstos dominarían en la lucha por la existencia. Sus palabras fueron tomadas literalmente y por mucho tiempo se pensó que el animal más fuerte o el más rápido de una manada sería el más adecuado, es decir el que dejaría más hijos en la manada; no obstante, esto no es exacto, los organismos más fuertes, más agresivos, pueden invertir mucha energía y tiempo en actividades no reproductivas, lo mismo sucederá con los organismos menos fuertes y agresivos de la población, de tal manera que en condiciones estables los fenotipos intermedios de una población, dejan en promedio más descendientes que los extremos y decimos entonces -- que son más adecuados; estos individuos se comportan de --

acuerdo al principio de la distribución estratégica de los recursos, es decir, que optimizan el reparto de energía y tiempo disponibles en forma tal que maximizan su adecuación (Harper, 1977; Calow y Townsend, 1981). Dada una cantidad fija de energía reproductiva, hay una relación inversa entre el número total de hijos producidos y su adecuación promedio, ya que podemos suponer que mientras más energía gaste un progenitor en sus hijos individuales, más adecuados serán éstos.

Cuando hablamos de selección natural implicamos que aquellos que sobreviven tienen una mayor adecuación que aquellos que no lo logran (Cook, 1971).

La selección natural cosecha continuamente los fenotipos extremos y tiende a mantener constante los fenotipos promedio, este tipo de selección es llamada estabilizadora. En un medio ambiente estable, la recombinación genética proporcionada por la reproducción sexual de los organismos de una población incrementa la variación poblacional en cada generación, mientras que la selección estabilizadora la reduce al valor (aproximado) que tenía en la generación anterior.

Sin embargo en medios ambientes cambiantes, los individuos promedio pueden no ser los miembros más adecuados de una población, en esta situación ocurre la selección direccional y el promedio de la población se corre hacia un nuevo fenotipo mejor adaptado al medio alterado, eventualmente, a menos que el cambio persista, se alcanza un equilibrio en el cual la población es reajustada al nuevo ambiente en el que se presenta otra vez la selección estabilizadora (Pianka, 1974).



Los genotipos no tienen adecuación darwinista alta o baja en abstracto, su adecuación es una función del medio ambiente en que nacen o al que emigran (dobzhansky, 1977), de tal forma que depende de su adaptación a dicho ambiente, cualquiera que éste sea. Diremos que un cigoto (y por implicación, el individuo, población o especie) está adaptado a un ambiente si puede reproducirse en ese ambiente (-- Solbrig, 1981). Esto nos lleva a considerar la conformación de los organismos con respecto a los elementos que -- integran el medio en que se desenvuelven, para ello hemos de considerar el principio de los factores limitantes de Blackman, que en realidad es una modificación de la Ley del Mínimo de Liebig (Devlin, 1975).

Tanto la reproducción como otras actividades propias de los seres vivos están reguladas, generalmente, por la disponibilidad de uno o algunos de aquellos factores ambientales que se encuentran en escasa disponibilidad, en palabras del mismo Liebig: " el crecimiento de una planta es dependiente de la cantidad de nutrientes que se encuentran presentes en mínima cantidad " (Odum, 1971).

Por ejemplo, las plantas silvestres estarán limitadas por restricciones de los nutrientes esenciales, al igual que las plantas de cultivo, pero también estarán limitadas en forma seria por las actividades de otras plantas y por los animales que se alimentan de ellas, y estas presiones serán mucho más "limitantes" que la simple escasez de nutrientes (Colinvaux, 1980).

Es decir, que cualquier factor biótico o abiótico del ambiente de un organismo puede ser limitante. Pero ¿qué es un factor limitante?, "cualquier cosa que tiende a hacer más difícil para una especie el vivir, crecer, o reproducirse en su medio ambiente, es un factor limitante para la especie en ese medio ambiente" (Cox et al., 1978). Para ser limitante el factor no necesita ser mortal, simplemente puede reducir la eficiencia fisiológica o comportamental de tal manera que el organismo no pueda reproducirse como lo haría si no existiese tal factor.

Los investigadores pronto se dieron cuenta de que no sólo la carencia o presencia mínima de algo podía ser un factor limitante, también un exceso podía ser igualmente perjudicial para los organismos, de tal manera que los seres vivos tienen mínimos y máximos ecológicos, con un intervalo entre ambos que representa los límites de tolerancia. En 1913, V. E. Shelford incorporó estas ideas a su llamada Ley de Tolerancia (Odum, 1971), la que dice en breve: demasiado poco o demasiado mucho de cualquier cosa, ya sean nutrientes, interacciones bióticas, o factores físicos puede ser perjudicial para un organismo (Pianka, 1974). Así con respecto a cada factor biótico y abiótico del ambiente en que vive un organismo, éste y cada población o especie tienen límites de tolerancia particulares, y viven y se desarrollan dentro de un intervalo de tolerancia para cada factor y a la vez para todos los que les son relevantes vitalmente hablando. De tal forma que la adecuación de un organismo dependerá de su colocación o ubicación respecto a esta diversidad de límites tolerables. La adecuación será máxima cuando los --

valores de cada factor, que determinan el nicho de un organismo en el ecosistema, sean óptimos, y disminuirá de manera proporcional con el empobrecimiento o variación de tales factores, los que no tienen por supuesto el mismo valor para todas las especies; así podemos encontrar:

- algunos organismos que tienen un amplio intervalo de tolerancia para un factor y uno estrecho para otro.
- los que tienen amplios intervalos para un gran número de factores (organismos euritópicos) están ampliamente distribuidos (cosmopolitas)
- cuando las condiciones no son óptimas para un organismo con respecto a un factor, los límites de tolerancia pueden reducirse con respecto a otros
- es frecuente que muchos organismos no vivan en el intervalo óptimo con respecto a un factor
- el período reproductivo es más crítico con respecto a los factores limitantes
- los que tienen estrechos intervalos para un gran número de factores (organismos estenotópicos) tienen una distribución restringida

De ello resulta que la localización exacta de un individuo en un ecosistema particular pueda ser determinante de su adecuación inmediata y los organismos tienden entonces a seleccionar microhabitats en los cuales puedan maximizar su valor de adecuación, ello no implica que habiten sólo uno y de manera permanente.

Hemos señalado ya que la regulación del crecimiento poblacional de las especies está dada por el valor que asuma  $K$  en un sitio y tiempo determinados, de tal forma que la población crecerá hasta alcanzar un valor igual o aproximado a la capacidad de acarreo del biótomo respectivo y de allí en adelante, considerando más o menos constantes las condiciones ambientales, el número de individuos adoptará un valor promedio cercano al de este estado estable o maduro del ecosistema. ¿Qué sucederá si el valor de  $K$  disminuye una vez estabilizada la población, es decir, en qué forma influirá el deterioro ambiental en la adecuación individual y poblacional de una especie? Fischer (1958) fue uno de los primeros en considerar el deterioro ambiental, decía: "Para la mayor parte de los organismos... el ambiente físico puede ser visto como deteriorándose constantemente, ya sea que el clima, por ejemplo, se vuelva más cálido o frío, más húmedo o seco... probablemente más importante que los cambios en el clima serán los cambios evolutivos en progreso en organismos asociados".

La relación entre organismos y medio ambiente se da a través de la adaptación, ya que para sobrevivir en determinado ambiente los organismos deben satisfacer las condiciones exigidas por ese ambiente particular, que incluye tanto el medio físico-químico como las interacciones bióticas. La adaptación puede definirse simplemente como la conformación entre el organismo y el medio ambiente (Pianka, 1974). Un organismo que habita un ambiente estable tiende, después de un cierto tiempo, a alcanzar un grado máximo u óptimo de adaptación en relación a otros organismos, mientras el ambiente se mantenga constante, si por el contrario éste cambia, el organismo debe invertir parte de su presupuesto energético en adaptarse nuevamente-

a aquel o a aquellos factores ambientales que se hayan modificado lo que probablemente se reflejará en su adecuación. Esto no significa que los organismos en ambientes estables no estén sujetos a cambios adaptivos, de hecho, la reproducción sexual incrementa la diversidad entre los individuos que componen una comunidad, pero la selección natural al trabajar sobre los organismos de los extremos de la modal fenotípica poblacional mantiene más o menos constante la adecuación.

En un medio ambiente físico que no cambia, la adaptación se vuelve un proceso asintótico de ajuste, que reduce su paso conforme se alcanza la perfección, en cambio en un medio dominado por las fuerzas bióticas de la competencia y la depredación, el juego evolutivo es potencialmente interminable (Harper, 1977). Es decir que la adaptación al medio ambiente físico-químico puede llevar a un grado máximo de adaptación, un fin previsible - en tanto que el ambiente no cambie - mientras que la adaptación a las cambiantes interacciones intra e interespecíficas es mucho más compleja.

Es relativamente fácil para los organismos conformarse a y enfrentarse con medios ambientes predecibles mientras no sean muy extremos, puede ser más difícil adaptarse a un medio ambiente impredecible, y los medios ambientes altamente impredecibles pueden resultar imposibles para que un organismo se adapte; aquellos cambios en el medio ambiente que reducen la adaptación total los podemos llamar colectivamente deterioro ambiental (Pianka, 1974). Una reducción en la adaptación individual o poblacional conduciría a un decremento en adecuación, ya que como dice Solbrig (19 ), la reproducción de un organismo en un ambiente particular depende de su adaptación al mismo; así la adecuación y el deterioro ambiental están directamente relacionados.

No todos los cambios en el ambiente reducen la adecuación total de la población, aunque lo hagan respecto a algunos miembros de ésta, cada uno tiene su propia adecuación - relativa dentro de esa población, la que determina en parte la adecuación de los otros, asimismo cada adecuación individual es influida por todos los otros miembros de su población; y por los integrantes de las otras poblaciones que -- componen la biocenosis de un ecosistema particular de tal manera, que la adecuación sólo puede ser definida y comprendida en el contexto del ambiente total de un organismo ( -- Pianka, 1974). Harper (1977) señala: " Un organismo será -- más adecuado si sus actividades reducen el número de descendientes dejado por sus vecinos, aún si estas actividades no inciden sobre el número de descendientes que él mismo deja.

Los medios ambientes cambiantes ya sea en forma natural o debido a la perturbación humana, son muy importantes ya que al variar temporalmente, varían también las presiones selectivas y el fenotipo de mayor adecuación está siempre cambiando, así, es probable que al cambiar el medio se afecte la adecuación individual, pero mientras el cambio no sea dramático, la selección natural estabilizará la adecuación total de la población y la mayor adecuación será ocupada por diferentes fenotipos siempre dentro de un número aproximadamente constante de individuos.

White y Pickett (1985) definen la perturbación (disturbance) como: " cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que quebranta la estructura de un ecosistema, una comunidad o una población, y cambia los recursos, la disponibilidad del sustrato o el ambiente físico ".

Sousa (1984) señala las características más comúnmente usadas para describir la perturbación :

- tamaño del área perturbada

- magnitud, que consta de dos componentes:
  - intensidad, medida de la fuerza: temperatura del fuego, velocidad del viento o de la ola, etcétera
  - severidad, medida del daño causado
- frecuencia, número de perturbaciones por unidad de tiempo, con dos variantes:
  - frecuencia puntual al azar, número promedio de perturbaciones por unidad de tiempo en un punto al azar dentro de una región; esto con frecuencia se expresa como la recurrencia o el intervalo de retorno (por ejemplo, el tiempo promedio entre perturbaciones)
  - frecuencia regional, número total de perturbaciones que ocurren en un área por unidad de tiempo
- predecibilidad, medida por la variación o diferencia en el tiempo promedio entre perturbaciones
- tasa de cambio o período de rotación, tiempo promedio requerido para perturbar el área completa en cuestión

Una clase importante de perturbación son las fluctuaciones ambientales, debidas generalmente a cambios en el clima, incluyen entre otros: variación de temperatura, contenido de humedad atmosférica, velocidad del viento y precipitación pluvial. Otras pueden deberse a la introducción repentina de un nuevo depredador o competidor en la comunidad, pueden ser cíclicas o inesperadas, y su magnitud depende de su origen, fuerza de expresión y constancia. Hay fluctuaciones que al ser de baja intensidad y repetitivas terminan por ser asimiladas en la historia evolutiva de una comunidad, pero hay otras que debido a su magnitud e impredecibilidad pueden ocasionar una fuerte disminución de la adecuación de los organismos e incluso extinguirlos; Harper (1977)

usa dos términos relacionados: "desastre" y "catástrofe evolutiva". Los contrasta como sigue: un "desastre" ocurre tan frecuentemente que es probable que suceda dentro del ciclo de vida de generaciones sucesivas, mientras que una "catástrofe evolutiva" se presenta raramente, en forma tal que es poco probable que sea experimentada como una fuerza repetida; y señala que : " la consecuencia selectiva de -- los desastres es que probablemente incrementen la adecuación a corto plazo, mientras que la consecuencia de las -- catástrofes es que la disminuyan " .

Hay que distinguir entre estos dos términos, una "marea roja" que se presente con regularidad en las costas del Golfo de México o un cambio en la temperatura del agua, como -- el provocado por la corriente de El niño en las costas de -- Perú y Chile en el Pacífico sur, pueden constituir un desastre para los bancos de peces de ambas zonas; no obstante, -- raramente conducen a la extinción de las especies; pero después de una catástrofe evolutiva como pudo ser, la erupción volcánica de 1883 en la Isla de Krakatoa, la composición genética de las poblaciones se depaupera seriamente e incluso estas pueden desaparecer de manera permanente.

El término catástrofe es relativo y la escala a la que se refiera la cuantificación del daño debe implicar un episodio tan severo que lleve a la población o comunidad muy -- cerca de la extinción (Harper, 1977). De hecho, una de las implicaciones más importantes de la fluctuación ambiental -- es que puede resultar en la extinción de las poblaciones afectadas (Roughgarden, 1979).

Hoy en día, las comunidades naturales del planeta en -- tierra y océano, se siguen enfrentando a desastres y catástrofes evolutivas que ocurren naturalmente debido ya sea a cambios en la actividad solar, que inciden sobre la atmósfera y el agua provocando huracanes o bien a la dinámica --



de la tectónica de placas, con el resultante vulcanismo y la ocurrencia de terremotos. Fenómenos todos ellos experimentados por la vida en la Tierra a lo largo de su evolución y que probablemente condujeron a la extinción de millones de especies en el pasado. Sin embargo, en nuestra época, los organismos terrestres y oceánicos deben enfrentar un tipo cualitativa y cuantitativamente nuevo (evolutivamente hablando) de desastres y catástrofes sin parangón en la historia de la vida en nuestro planeta, me refiero a los productos biocidas y ecocidas de la actividad industrial, comercial, militar, de investigación, recreación y comportamiento de la especie humana.

De acuerdo con Liebig y Shelford, aceptando los desastres e incluso las catástrofes evolutivas de Harper y las extinciones de que habla Roughgarden, los organismos han evolucionado en presencia de factores limitantes, desplazándose a lo largo de límites de tolerancia, han soportado sistemáticamente desastres naturales de diversos tipos, han sufrido catástrofes evolutivas, con extinciones locales o no, y después de todo ello y de 3,500 millones de años de conllevar todos estos factores propios del ambiente planetario a través de la historia de la Tierra, la vida florece aún con millones de especies que saturan literalmente hablando los continentes, tanto en climas ecuatoriales como polares; el océano, desde su superficie hasta las profundidades del lecho marino; y el aire, en todos los rincones de la atmósfera; no obstante todo ello, difícilmente puede el protoplasma vivo del planeta resistir el asalto masivo de la tecnología humana; no hay ser vivo en la Tierra que pueda sobrevivir a la catástrofe mayor, la desintegración nuclear, que alcanza temperaturas estelares y libera sustancias mortales muchas de -

ellas desconocidas para la vida planetaria. Empero no queremos escribir un trabajo sobre la locura última del hombre, la guerra nuclear es en términos contemporáneos el producto terminal de la evolución humana y el shock que ello representa, tan sólo como idea, desborda los fines y alcances de la presente investigación. Pero hay otras formas de perturbación menos drásticas, menos inmediatas, pero igualmente catastróficas que el hombre ejerce actualmente contra los ecosistemas de la Tierra, por ejemplo mediante su destrucción y la contaminación ambiental, las que inciden directamente sobre la Biósfera en su totalidad y deterioran el ambiente en ambos niveles, micro y macroscópico. Ambas formas de deterioro ambiental son un producto estrictamente humano que dan forma y razón de ser al impacto biológico.

¿ Qué es el impacto biológico ? Llamaré impacto biológico a " toda acción humana que reduzca la adecuación de los organismos de la Biósfera".

Las principales acciones del hombre son:

- obtención y producción de alimentos
- crecimiento y movimiento poblacional
- asentamientos y urbanización
- búsqueda, obtención y consumo de agua, energéticos y otros recursos naturales renovables y no renovables
- uso y modificación del suelo
- desarrollo económico - industrial
- comercio nacional e internacional
- transporte terrestre, aéreo y marítimo

- investigación científica y desarrollo tecnológico
- actividades militares
- turismo
- caza y pesca deportivas
- actividades artísticas, religiosas y deportivas
- comportamiento social, sexual y otros

(El-Hinnawi y Hashmi, 1982; PNUMA, 1984)

Todas estas actividades, en mayor o menor grado, son generadoras de impacto biológico a través de la perturbación de los ecosistemas naturales que su desarrollo implica y de la contaminación ambiental que de las mismas se deriva.

¿Qué entendemos por perturbación de los ecosistemas? - El ecosistema es complejo de definir, para Dreux (1975) - el conjunto formado por el medio físico, el biótopo, y las especies que lo pueblan, la biocenosis, constituye un ecosistema; ello nos podría hacer imaginar un conjunto estático, por eso Whittaker (1975) amplía y dinamiza la definición: "una comunidad y su medio ambiente (físico-químico), tratados en conjunto como un sistema funcional de relaciones complementarias, transferencia y circulación de energía y materia, es un ecosistema". Si entendemos por comunidad natural al conjunto de poblaciones de plantas, animales, bacterias, hongos y otros organismos, que viven en un medio ambiente determinado e interactúan entre sí, formando un sistema viviente característico, con su propia composición, estructura, relaciones ambientales, desarrollo y función, comprenderemos plenamente la definición anterior.

El gran ecosistema del planeta es la Biósfera, cuyo concepto fue introducido por primera vez por el geólogo austríaco Eduard Suess y desarrollado por el mineralogista soviético Vladimir I. Vernadski, quien a su vez aceptaba que la idea provenía del naturalista francés Jean Baptiste Lamarck (Hutchinson, 1971). La Biósfera y la llamada zona parabiosférica (Hutchinson, 1979) comprenden aquella parte de la Tierra donde existe la vida, abarcando desde los picos más altos hasta las mayores profundidades del lecho marino, incluyendo en la definición todos los biotopos imaginables en tierra y agua, y su interacción con la atmósfera. La Tierra se presenta así, materialmente envuelta en una capa de vida, por una comunidad natural que comprende la biocenosis más rica en diversidad y número de que se tenga noticia.

Física y metodológicamente es imposible para el estado actual de la ciencia humana intentar el estudio comprensivo, integral, holístico, de la Biósfera como un todo y debido a ello diferentes estudiosos de acuerdo a su particular campo de estudio la han subdividido en áreas que hagan más accesible su análisis. Así, tenemos una división del mundo en cuanto a su composición florística realizada por Gooden en 1964, que comprende seis regiones florales: boreal, neotropical, paleotropical, del Cabo, antártica y australiana; complementando esta división basada en la distribución de las angiospermas, tenemos una división zoológica basada en la distribución de los mamíferos que comprende también seis grandes zonas: paleártica, neártica, africana, neotropical, oriental y australiana (Cox et al., 1976).

En 1909, el botánico danés Christen Raunkaier observó una correlación interesante: que los tipos de plantas más comunes o dominantes en una región con un clima característico tenían una forma apropiada para sobrevivir a las condiciones de la zona. Usando sólo una característica vegetal, la posición del tejido perenne respecto a la superficie del suelo (entendiendo como tejido perenne al tejido embrionario, meristemático, que permanece inactivo durante la estación seca o el invierno y que reanuda su crecimiento con el calor primaveral y la estación de lluvias), Raunkaier clasificó a las plantas terrestres en cinco tipos de "formas de vida": fanerofitas, caméfitas, hemicriptofitas, geofitas y terofitas, lo que lo llevó a establecer un espectro de formas de vida mundial que clasifica la vida planetaria terrestre, de acuerdo con las mismas (Kershaw, 1973).

Otra clasificación se ha estructurado en base a las formas de crecimiento de las plantas y se basa en: árboles, lianas, arbustos, epífitas, hierbas y talofitas. Estas formas se usan para caracterizar la estructura de las comunidades vegetales.

El estudio de la forma y estructura de las comunidades naturales es llamado fisiognomía y tiene una gran aplicación en el estudio de las comunidades terrestres, no así de las marinas. La estructura de las comunidades planctónicas es difícil de discernir, ya que la mayor parte de los planctones son microscópicos, de corta vida y se reproducen rápidamente, no hay en ellas la acumulación de una estructura masiva y su fisiognomía se limita a su dispersión en el agua.

La fisiognomía de una gran comunidad en tierra se conoce por bioma o formación (esta última aplicada solamente a las plantas). Un bioma, es un agrupamiento de ecosistemas terrestres sobre un continente dado con similar fisiognomía, características ambientales a las que responde su forma y estructura, y similar también en algunas características de sus comunidades animales; hay seis tipos fisiognómicos principales: bosques, pastizales, sabanas (cerrados), tierras arbustivas, semidesiertos y desiertos.

Como podemos observar, estas seis grandes divisiones de la tierra continental no son muy útiles para una caracterización ecosistémica debido a su magnitud. Whittaker (1975) ha elaborado una lista más minuciosa de treinta y seis biomas tipo:

- 1 - bosques lluviosos tropicales
- 2 - bosques estacionales tropicales (caducifolios en su mayoría)
- 3 - bosques lluviosos templados
- 4 - bosques caducifolios templados
- 5 - bosques siempreverdes (perennifolios) templados
- 6 - taiga o bosques de aguja, subárticos, subalpinos
- 7 - bosques encantados
- 8 - tierras boscosas tropicales de hoja ancha (latifoliadas)
- 9 - bosques espinosos
- 10 - tierras boscosas templadas
- 11 - tierras arbustivas templadas
- 12 - sabanas o pastizales tropicales
- 13 - pastizales templados
- 14 - pastizales alpinos
- 15 - tierras arbustivas alpinas

- 16 - tundras, planicies árticas sin árboles
- 17 - matorrales semidesérticos cálidos
- 18 - semidesiertos fríos
- 19 - semidesiertos ártico-alpinos
- 20 - desiertos verdaderos subtropicales
- 21 - desiertos ártico-alpinos
- 22 - pantanos fríos templados
- 23 - bosques pantanosos de agua dulce, tropicales
- 24 - bosques pantanosos de agua dulce, templados
- 25 - pantanos de manglar o manglares de costas y estuarios tropicales
- 26 - ciénagas salitrosas o salinas de costas templadas
- 27 - comunidades lénticas de agua dulce, lagos y estanques
- 28 - comunidades potámicas de agua dulce, corrientes
- 29 - costas rocosas marinas
- 30 - playas arenosas marinas
- 31 - llanuras lodosas marinas
- 32 - arrecifes coralinos
- 33 - superficies pelágicas marinas, comunidades de "mar -- abierto"
- 34 - comunidades pelágicas profundas marinas
- 35 - bentos de plataforma continental, zona nerítica
- 36 - comunidades bentónicas de océano profundo

Aún esta clasificación más comprensiva, que incluye al -- océano con sus biomas tipo, no nos es satisfactoria ya que cada uno de los treinta y seis tipos de Whittaker comprende un - cierto número de ecosistemas y es difícil estudiarlos agrupa - dos. Ello nos lleva a considerar como unidad ideal de estu - dio a un ecosistema particular, pero de acuerdo con la defini - ción que hemos dado ¿ de qué tamaño es un ecosistema ? En -

realidad puede ser de cualquier tamaño, la gran barrera arrecifal de Australia, un bosque de Sequoia sempervirens en la costa pacífica de los Estados Unidos, un oasis en el desierto libio, un estanque en un parque público de cualquier ciudad, un rincón de la cocina en una casa, el jardín de una facultad, el intestino de una termita o la piel de un elefante.

Cualquier conjunto que llene las condiciones de un biótopo y una biocenosis en relación funcional puede considerarse un ecosistema. Los ecosistemas pueden dividirse en dos grandes grupos: los naturales y los artificiales creados por el hombre, como las ciudades o los campos agrícolas. Pero aún el mismo hombre puede considerarse como uno o varios ecosistemas complejos. Marples (1969) dice: "la piel (humana) es un ecosistema, con flora y fauna microscópicas y diversos nichos ecológicos: el desierto del codo, los fríos bosques del cuero cabelludo y el bosque tropical de la axila".

Davis et al. (1973) señalan dieciocho tipos de bacterias que regularmente habitan la piel, conjuntiva, nariz, faringe, boca, intestino delgado, genitales externos del hombre y vagina de la mujer; considerando que muchas especies más pueden estar temporalmente presentes como visitantes pasajeros, añadamos a éstas, los ecto y endo parásitos, hongos y virus que habitan normalmente al organismo humano y tendremos una diversidad ecosistémica que nos llevaría a hablar del bioma tipo hombre, y no sólo de éste, la gran mayoría de los organismos de la Tierra presentan este grado mayor o menor de asociación. Así pues, un ecosistema puede adoptar casi cualquier tamaño, desde el aparato digestivo de los rumiantes hasta la capa viviente que cubre al planeta.



Una vez definido y visualizado el ecosistema, podemos hablar de su perturbación, ésta puede abarcar, y de hecho así sucede, la mayor parte de los ecosistemas de la Biósfera, asume formas diversas pero todas ellas resultan en impacto biológico para un gran número de individuos.

Hemos definido ya la perturbación, señalamos los elementos más comunes que la caracterizan, y hablamos de dos diferentes tipos que se reconocen. Ahora señalaremos la relación entre perturbación, adecuación y diversidad. La perturbación es tanto, una fuente principal de heterogeneidad espacial y temporal en la estructura y dinámica de las comunidades naturales, como un agente de selección natural en la evolución de los ciclos de vida. Una perturbación es una mortandad, desplazamiento o daño discretos de uno o varios individuos (o colonias) que directa e indirectamente crea una oportunidad para que se establezcan nuevos individuos o colonias (Sousa, 1984). Desde esta perspectiva, el hombre al perturbar un ecosistema, o parte del mismo, incide sobre la capacidad reproductiva y la sobrevivencia de los organismos, pero establece condiciones (al cambiar las anteriores) que  pueden dar lugar al establecimiento, por colonización, de nuevos organismos llegados al lugar de la perturbación, o bien al desarrollo explosivo o no de poblaciones de organismos que anteriormente estaban sujetos a las condiciones impuestas por las especies dominantes.

Frente a una fuerte perturbación por parte del hombre, el ecosistema original es transformado en uno de (inicial pero no necesariamente) menor diversidad. Acaso la expresión más propia fuera, de diferente diversidad. De tal manga que la acción humana perturbadora incide en primer lugar sobre la adecuación de los organismos originalmente establecidos y favorece, si este es el caso, la de los nuevos habitantes en tanto no se ejerza una nueva presión perturbadora. En el trayecto lo que aparentemente se afecta, si consideramos por ejemplo la tala de la selva tropical, es la diversidad de las especies, a lo cual nos referimos ampliamente en el capítulo III.

En este caso, un ecosistema complejo y de gran diversidad es sustituido, o bien por uno de menor complejidad y diversidad, tal y como sucede con el cultivo monoespecífico de alguna planta tropical de interés comercial, o bien es convertido en un pastizal natural, o bien es abandonado iniciándose de inmediato la regeneración de la selva original vía sucesión secundaria.

Hasta aquí el esquema tradicional de la perturbación y sus consecuencias, tal y como lo plantea W. Sousa (1984), es válido y de hecho funciona en gran parte de la perturbación ejercida por el hombre; no obstante, en años recientes, la velocidad, intensidad y persistencia de la perturbación antropogénica es tal, que incluso este esquema que funciona bien con la perturbación natural (Sousa, 1985) y aun con la histórica de origen humano, está en peligro. En capítulos posteriores se señalan ejemplos y se proporcionan datos sobre los alcances de la actual perturbación humana, que sugieren cambios radicales e irreversibles tanto para los hábitats como para las especies de la Tierra.

La forma más común de perturbación en tierra es la remoción de biomasa vegetal, que históricamente se dio en el Medio Oriente, Europa y Norteamérica, en bosques templados (generalmente) y que hoy en día se ha extendido de manera intensiva al cinturón ecuatorial de selvas tropicales. Otra forma de perturbación comprende la transformación de ecosistemas boscosos, pastizales, zonas lacustres, etc. en nuevos tipos de ecosistemas creados por el hombre: en terrenos de cultivo o agroecosistemas y en poblados y ciudades o ecosistemas urbanos; amén de la construcción de carreteras, aeropuertos, parques industriales, etc., la creación de lagos artificiales al represar ríos y la extracción de materias primas diversas, así como el desarrollo de vías férreas y otros han perturbado grandemente extensas regiones de la superficie.

El manejo inadecuado de suelos agrícolas y el pastoreo excesivo, e incluso la presión demográfica en ciertas regiones, han ocasionado procesos de desertificación.

En la frontera con el océano, la creación de puertos, el dragado de bahías y lagunas costeras, la instalación de plantas nucleoelectricas, el transporte marítimo de energéticos y otras materias primas, el desarrollo turístico y la pesca deportiva y comercial la instalación de refinerías e industrias diversas en las costas y las actividades navales de los ejércitos del hombre, han creado una fuerte perturbación con el consecuente impacto biológico para las comunidades de la zona.

Si en islas, como en otras regiones continentales, el problema ha sido la introducción perturbadora de especies exóticas, en el mar lo constituye la remoción de mamíferos marinos, corales y otras especies hasta llevarlas al borde de la extinción.

Otra forma de perturbación - impacto biológico - que se desarrolla en tierra y abarca la interfase tierra/atmósfera y que generalmente culmina en el océano es la contaminación; para efectos del presente trabajo consideraremos a tal proceso desde dos perspectivas:

- como la introducción humana de un elemento nuevo (exótico) a los ecosistemas naturales, por ejemplo, los polímeros plásticos.
- como el incremento o disminución a niveles perturbadores de un elemento previamente existente en la biosfera, merced a la actividad humana; por ejemplo, el incremento de dióxido de carbono o la disminución de ozono.

El océano, históricamente considerado el gran depositario de los desechos biológicos e industriales producto de la actividad del hombre, enfrenta actualmente un creciente deterioro que ha hecho pensar ya en la forma de preservar la "salud de los océanos".

Por otra parte, la atmósfera no se ha visto exenta de la perturbación, ambos tipos de contaminación han encontrado campo propicio en esta delicada capa de gases que envuelve a la Tierra y sustenta la vida de la Biósfera. Además de la introducción masiva de gases, humos, polvos, coloides, microbios y otras sustancias, probablemente desconocidas antes de la Revolución Industrial para la atmósfera, también se ha perturbado grandemente el balance gaseoso de su composición.

El mismo hombre no se ha librado del fenómeno perturbador que su actividad produce, y hoy en día su salud, y por lo tanto su adecuación, se ven deterioradas merced a la incontrolada actividad ecocida que desarrolla.

Gran parte de los seres vivos del planeta, tal vez la mayoría, son afectados directa o indirectamente, en mayor o menor grado, por la acción humana y por el impacto biológico resultante. Ello se deriva de la distribución cosmopolita del hombre sobre tierras y aguas y de su extensa red de relacionamiento biótico.

Podemos discernir cinco tipos principales de relación entre la especie humana y las demás especies que conforman la Biósfera:

- relación trófica, con aquellos organismos que constituyen alimento para el hombre y sus animales
- relación simbiótica\*, con aquellos organismos que

---

\* Relación simbiótica, la simbiosis se refiere a asociaciones cercanas, diversas y duraderas entre organismos de diferentes especies. Generalmente se distinguen tres clases de relaciones simbióticas: comensalismo, en la que uno de los simbioses se beneficia, mientras que la relación es en gran medida neutral para el otro; mutualismo, ambos simbioses se benefician; y parasitismo, en la que un organismo se beneficia mientras el otro resulta perjudicado (Whittaker, 1975).

han sido domesticados por el hombre o bien que forman parte de la flora y fauna del organismo humano

- relaciones de nicho\* en dos niveles:

- con organismos que ocupan el mismo nicho o uno similar al del hombre o sus animales domesticados
- con organismos que ocupan nichos ecológicos producidos por el hombre en el curso de sus actividades

- relaciones no-directas, que surgen entre el hombre y los organismos afectados al modificar o destruir - aquél el habitat de éstos. (adaptado de Cox et al., 1976).

Este último tipo de relación es el más destructivo y el - que conlleva un valor máximo de impacto biológico ya que, al - modificarse o destruirse el biótomo originalmente habitado por un organismo, hay una gran pérdida de adaptación que puede lle- var incluso a la extinción de la población o especie.

---

\* El nicho ecológico puede definirse como " la suma total de - las adaptaciones de una unidad orgánica ( organismo, po- blación o especie)" (Pianka, 1974). Hutchinson (1979) defi- ne el nicho de un organismo como " un hipervolumen de -- n-dimensiones que comprende el intervalo completo de condicio- nes bajo las cuales ese organismo puede reemplazarse a sí - mismo con buen éxito". Por definición, un nicho es una mane- ra característica de obtener recursos. Podemos decir, que - mientras el habitat de un organismo es la dirección en donde vive, el nicho es su profesión (Roughgarden, 1979).

Podemos medir el impacto biológico\* en una escala arbitraria que vaya de 0.0 a 1.0; el valor mínimo de impacto será precisamente 0.0 y significará que no hay ninguna reducción "apreciable" en la adecuación de los organismos estudiados. El valor máximo será de 1.0 lo que indicará - que los organismos afectados se han extinguido. Un valor de 0.1 representará un efecto mínimo pero apreciable y dependerá de múltiples factores, como el tipo de organismo, el ambiente en que habita, el tipo de reproducción que posea, etc. podemos considerar este valor como el "umbral" de daño (ver capítulo III), ya sea al organismo, a la población, especie o comunidad sobre la que incida la acción humana. Un valor de impacto biológico de 0.9 implicará -- una catástrofe evolutiva tipo Harper, y conllevará - a no ser que haya cambios modificadores - a la extinción de los organismos.

Así pues, podemos observar que en realidad hay un "intervalo de impacto", a lo largo del cual podemos ubicar a los organismos de acuerdo con tres características esenciales del impacto biológico: la velocidad, la intensidad y la persistencia de la acción del hombre. Los valores que hemos señalado no pueden ni deben considerarse absolutos - y, al igual que la adecuación misma, el impacto biológico será relativo en función de los diferentes organismos afectados y de sus ciclos de vida. Así, un impacto biológico de "0.3" que puede ser mortal para un organismo en un momento dado, puede no serlo para el mismo organismo en diferentes condiciones y por supuesto no serlo tampoco, para - otros organismos.

Esta escala propuesta del intervalo de impacto biológico sólo se podrá utilizar científicamente una vez conocido el valor de reducción en adecuación de cada organismo frente a la totalidad de factores que puedan resultar de la acción humana perturbadora, la que dependerá de las características esenciales señaladas anteriormente para el impacto biológico, de sus -

\* Uno de los problemas metodológicos fundamentales con que se enfrenta el impacto biológico, es la carencia de un procedimiento estándar, que permita cuantificar exactamente la adecuación de los organismos.

posibles combinaciones entre sí y del efecto sinérgico que de ellas resulte; asimismo, debemos considerar el efecto particular de cada una sobre las características poblacionales, y otras, de los organismos.

Examinemos la primera de ellas, la velocidad a la que se presenta el impacto biológico; si ésta es lenta, los organismos tienen cierto número de opciones, en el caso de los animales que pueden moverse optarán por desplazarse si existe la oportunidad ( en islas sobre todo pequeñas ello no es factible) alejándose del impacto biológico tanto como les sea posible sin poner en peligro su viabilidad; si son plantas, su extraordinaria plasticidad genética les permitirá adaptarse (conformarse a, en el sentido de Pianka) al cambio ambiental tanto como se los permita su acervo genético; de lograrse ello para ambos grupos de organismos, y si el impacto biológico no es muy intenso y persistente, con el tiempo la comunidad se recuperará hasta volver a adquirir un nuevo estado estable. Si el impacto biológico es rápido, los organismos no tienen opción y enfrentarán la extinción instantánea o mediatamente, como en el caso de las pruebas nucleares en atolones coralíferos del Pacífico sur en los años cincuenta; frente a un impacto biológico de este tipo, instantáneo y brutal por su intensidad, aunque efímero, la naturaleza no puede "reaccionar" con la misma velocidad ante este fenómeno desconocido (evolutivamente hablando) para la historia genética de las especies presentes en el sitio de la detonación.

Ahora bien, puede darse también el caso, de un impacto biológico lento pero persistente y acumulativo, que resulte deletéreo para los miembros de una comunidad determinada, tal es el caso de la perturbación de la capa de ozono que podría

llevar incluso a la destrucción de la vida como la conocemos sobre los continentes e islas y en la superficie del océano; otro caso puede ser, la gradual, lenta, pero irrefrenable con taminación de la Tierra por desechos altamente tóxicos para el protoplasma, lo que incluso podría ser aún más catastrófi co ya que el depósito "natural" de todos ellos es el océano.

En cuanto a la interacción de estas tres característi - cas con las de las poblaciones de organismos, podemos consi - derar la relación entre el impacto biológico y la edad de - los organismos al tiempo de producirse la perturbación. Si - el impacto biológico incide solamente sobre los miembros -- posrreproductivos de la población, la especie se salvará -- siempre y cuando no se vean afectados los hijos; si el impac - to biológico actúa sobre los organismos en estado reproducti - vo, e incide directamente sobre su capacidad, o métodos re-- productivos, la especie sufrirá en función de la magnitud -- del daño infligido por el impacto biológico; pero si éste -- se ejerce directamente sobre los organismos prerreproducti-- vos - como es el caso de los cachorros de focas que son cazados por su blanca y valiosa piel - entonces la población, y con - el tiempo la especie, estarán condenadas a la extinción y el impacto biológico alcanzará en forma inercial su máximo valor aún después de haberse suspendido su acción perturbadora.

Un típico ejemplo en el que la acción humana afecta por igual a todos los miembros de una población se da en la pesca de la anchoveta y otras especies que son capturadas no con la red tradicional - la que permite que huyan los miembros jóvenes y pequeños de la población - sino con modernos métodos de pes - ca que capturan el cardumen en su totalidad incluyendo hueve - cillos en el agua, larvas, juveniles y adultos, esta forma de



perturbación oceánica, la sobredepredación, manifiesta de manera fehaciente la forma en que el hombre acaba con las especies del planeta sin necesidad de llegar al dramatismo de los ejemplos citados anteriormente. En todo caso el impacto biológico alcanza su mayor valor y las especies son llevadas a la extinción.

El impacto biológico puede ser directo, como en el caso anterior, o bien indirecto: por contaminación química con productos tóxicos, (Peakall, 1970) por la introducción de componentes exóticos al ecosistema ( como las cabras, ratas y perros introducidos en las islas Galápagos, Eibl-Eibesfeldt, 1975; Du Chatenet, 1975), elevando la concentración de algún factor físico del medio ( vertimiento de agua caliente en estuarios y lagunas costeras, UNEP, 1979b), o de algún componente atmosférico ( como el dióxido de carbono, Woodwell, 1978), o acidificando los suelos ( mediante la lluvia ácida, Likens et al., 1979), etc.

La magnitud del impacto biológico ha variado históricamente, en las sociedades preagrícolas la recolección de alimento e incluso la pesca y caza no provocaban mayor perturbación de los ecosistemas naturales de la Tierra. No obstante, con el desarrollo de los primitivos agroecosistemas o ecosistemas agrícolas-- desarrollados por el hombre y con la aparición de los asentamientos humanos urbanizados o ecosistemas urbanos, su acción se empezó a ejercer con mayor fuerza y a concentrarse sobre pequeñas áreas geográficas; sin embargo, los cambios introducidos por el hombre en su ambiente: construcción de obras de irrigación, canales y represas, introducción de especies exóticas en territorios recientemente colonizados, transporte inminente por mar y tierra de mercancías, guerras de conquista

o liberación, minería, tala de bosques para la agricultura - y la creciente industria naviera, además de las ya mencio -  
 nadas nacientes ciudades y campos de cultivo, no fueron de -  
 gran relevancia. A partir de la Revolución Industrial, con -  
 el desarrollo sostenido de nuevas tecnologías, el crecimien -  
 to "explosivo" en términos demográficos de la población huma -  
 na y merced al descubrimiento y colonización de nuevas re -  
 giones del planeta, la intensificación y agravamiento del im -  
 pacto biológico no se hicieron esperar y desde entonces se -  
 ha venido acumulando esa perturbación incontrolada que mu -  
 chos han calificado de irracional y ecocida, ( Voigt, 1971; -  
 Césarman, 1972 y Dubos, 1974).

La magnitud del efecto del impacto biológico puede carac -  
 terizarse como totalizadora o bien parcial o local. La pri -  
 mera se refiere a una acción tal sobre la Biosfera en su con -  
 junto que ponga en peligro ya sea la vida continental e insu -  
 lar, la vida dentro del mar y en su superficie, o ambas. Este  
 último caso puede interpretarse a través de un impacto bioló -  
 gico de tal fuerza que destruyera, por ejemplo, la atmósfera  
 del planeta, de modo que no se conservase el intercambio ga -  
 seoso entre el océano y la atmósfera, ni la regulación térmi -  
 ca de las aguas del océano al perderse el intercambio energé -  
 tico con las corrientes de aire y el efecto termo-conserva -  
 dor del dióxido de carbono de la atmósfera y, por supuesto, -  
 se perdería también el oxígeno, gas vital para la respiración  
 de la mayor parte de los animales terrestres y oceánicos -  
 mientras que las plantas no podrían sintetizar por falta de  
 dióxido de carbono, ello traería como consecuencia, también,  
 el ingreso de diversas radiaciones provenientes del Sol y del  
 espacio interestelar lo que incidiría fatalmente sobre la ve -  
 getación y la vida en continentes, islas y superficie marina.

Probablemente los organismos que habitan el fondo de los océanos, en las cordilleras submarinas, y que se alimentan y reproducen merced a los escapes gaseosos de la corteza en esas regiones, sobrevivirían; tal vez también lo harían grupos de microorganismos que habitan dentro de las rocas en la Antártida y posiblemente algunos de los habitantes de cavernas profundas, protegidos del mundo exterior por metros o kilómetros de corteza continental y que no requiriesen oxígeno para su metabolismo y sobrevivencia. Pero la gran mayoría de las especies vivas de la Tierra - el hombre incluido - se extinguirían, a ello lo llamaríamos un impacto biológico de magnitud total. Aunque actualmente no se vislumbra, ni siquiera mediante un enfrentamiento nuclear limitado, una destrucción de tal magnitud, sí se observa, cómo de manera constante y creciente la actividad humana está incidiendo sobre la capa de ozono atmosférico, que protege a la vida en la Tierra de la radiación UV - B de onda corta proveniente del Sol (Boville, 1979).

Se propicia una tasa de desintegración molecular de ozono mayor a la tasa de reposición natural, la que ha venido funcionando en un estado de equilibrio estable probablemente por más de 1,000 millones de años de historia planetaria. De seguir este proceso como hasta ahora provocará en términos de temporalidad no-histórica (inmediata) sino tal vez evolutiva, en cientos o miles de años, la extinción gradual de la mayor parte o la totalidad de las especies vivas sobre tierra y océano.

De este caso extremo de perturbación podemos ir a niveles de magnitud de impacto biológico de tipo "local" o particular, como sería la eutroficación de un pequeño estanque -

en una región agrícola debido a escurrimientos fluviales - portadores de fertilizantes químicos asperjados en los suelos agrícolas adyacentes, o bien, la destrucción de un pequeño bosque templado debido a la conversión de su área en un ecosistema urbano. En ambos ejemplos, la magnitud del daño a nivel microscópico y macroscópico sería extraordinaria, desaparecerían en el caso del estanque miles o millones de individuos, en el bosque miles de millones de habitantes, sobre todo del suelo, pero en ambas situaciones - podría haber una recuperación parcial, sustitución de especies o incluso adaptación de algunas de ellas a las nuevas condiciones; en todo caso, la vida persistiría, la magnitud del impacto biológico sería local, no generalizada a los otros componentes de la biosfera.

No quiero dejar de señalar el hecho de que la acción humana también puede resultar en el incremento en adecuación de algunos organismos, hay casos muy concretos que se refieren a la selección artificial impuesta por el hombre y sus productos químicos a diversas especies:

- el uso de pesticidas diversos (hay más de 1000 fórmulas comerciales) ha seleccionado insectos, roedores y malezas resistentes ahora a los productos (Williams, 1967)
- la aplicación indiscriminada de antibióticos ha seleccionado bacterias, protozoarios y hongos que hoy en día son ya resistentes a la mayoría de estos compuestos (Watanabe, 1967)

E incluso históricamente el hombre mismo, ha visto - incrementada su adecuación, lo que ha llevado el número - de su población a c. 5,000 millones de habitantes para mediados de 1987. Sin embargo son de gran preocupación:

- la calidad genética de buena parte de estos individuos sujetos durante siglos a una desnutrición crónica
- el costo que otras especies de la Tierra han tenido que "pagar" por este incremento en la adecuación humana
- el futuro inmediato de la resultante histórica de la perturbación ambiental que permitió tal incremento.

Es indudable que de seguir el hombre con su actividad perturbadora de la Biósfera como hasta ahora, su población alcanzará pronto la capacidad de acarreo de la misma, lo que seguramente lo enfrentará a límites estrechos para un ulterior crecimiento.

En los próximos capítulos, se desarrolla y fortalece el concepto de impacto biológico, al relacionarse directamente con los múltiples ejemplos de perturbación que el -- hombre ejerce sobre los diferentes estratos que componen la capa viva del planeta.

## C A P I T U L O    I I I

## B O S Q U E S

Los bosques de la Tierra forman sobre los continentes el estado más avanzado que la vida puede alcanzar, sus partes vivientes -siempre interesantes y con frecuencia hermosas - trabajan juntas de tal forma que potencialmente todo el sistema vivo del bosque es indestructible (Boorer, 1977). Los bosques han estado con el hombre toda la historia, de acuerdo con Darwin los primeros protohomínidos descendieron de ellos, de las ramas de sus árboles, para iniciar un largo viaje que los llevó a través de la evolución biológica y cultural hasta alcanzar la actual conquista cognoscente de la estrella que le dio vida y razón de ser a ambos: el bosque y el hombre.

Los bosques han estado con nosotros siempre, proveyendo la materia prima que convirtió al recolector en agricultor con azadones de palo; al cazador en constructor de imperios en base a sus armas, - que unieron a la madera los metales aerolitíficos divinos; y al nómada en descubridor, proporcionándole carretas y carros para recorrer y transformar la tierra y barcos veleros para conquistar el mar.

Los árboles estuvieron con nosotros cuando surgió la escritura y amén de proporcionarnos madera para construir casas y muebles en -- que desarrollar la cultura, nos proporcionaron papel para escribir y tipos móviles de madera para la imprenta de Gutenberg, el libro - nació así del árbol, permitiéndonos entonces transmitir nuestra herencia extragenética, y hoy que el desarrollo tecnológico se expande por doquier, son los abuelos geológicos, millonarios, de nuestros bosques quienes nos proporcionan combustibles para mover las máquinas y oxígeno para que ellas, nosotros y todos los animales del planeta podamos respirar.

Somos y hemos sido parte de los bosques durante eones y ellos, en más de un sentido, han sido nuestra cuna original y el ataúd cálido y oloroso de pino que nos regresa a sus raíces, a la tierra.

Los bosques contienen el 90% de todo el carbón superficial que hay en el planeta, cubren el 9% de su superficie continental y sustentan a casi la mitad de todas las especies de plantas y animales conocidos (Clarke y Palmer, 1983). De hecho, los bosques y las tierras boscosas son los ecosistemas terrestres más extensos, más complejos y más productivos biológicamente hablando, sobre los continentes e islas (Tivy, 1971). Se ha estimado que originalmente cubrían dos terceras partes de la superficie de las tierras emergidas y, aunque ahora se ven reducidos a casi la mitad de su extensión original, aún ocupan un área mayor que la que el hombre ha dedicado a la agricultura.

En Europa, los bosques cubrían el 90% de la superficie, hasta que por el año 900 comenzó a operarse la continua transformación de las tierras forestales en tierras agrícolas, hoy en día los bosques cubren sólo el 20% del continente. En el momento de la llegada de Colón a América, la región oriental húmeda de lo que hoy son los Estados Unidos estaba cubierta por espesos bosques, que ocupaban -- una superficie de 160 millones de hectáreas hasta los bordes de las grandes llanuras, actualmente de ellos sólo queda un 5%, equivalente a ocho millones de hectáreas, en su forma original (PNUMA, 1980a).

Los bosques se presentan en un intervalo mayor de condiciones ecológicas que cualquier otro tipo de vegetación, producen la mayor biomasa por área y su impacto sobre la atmósfera y el suelo es también muy grande. Su productividad es muy elevada, la tasa anual fotosintética se aproxima probablemente al máximo que puede ser alcanzado por el crecimiento vegetal para un sitio determinado, y se dice que su utilización de la energía solar es comparable a la de los cultivos de máximo rendimiento (Tivy, 1971). Los bosques siguen -- constituyendo una de las fuentes primarias de recursos básicos, con una diversidad siempre creciente conforme avanza nuestro conocimiento, de usos y productos para los cuales hay una demanda correspondiente.

Pero ¿ qué es un bosque ? el bosque es un sistema ecológico complejo dominado por árboles, los que forman un amortiguador para la

tierra en contra del impacto total del Sol, el viento y la precipitación pluvial (Kenyon, 1975).

Cualquiera que sea el tipo de bosque, perennifolio o caducifolio, templado o tropical, los árboles que lo constituyen proveen - medios ambientes especiales, los que a su vez influyen sobre las - clases de plantas y animales que pueden vivir en ellos. Se han hecho diferentes intentos de clasificación de los bosques del mundo (Whittaker, 1975; Kenyon, 1975; PNUMA, 1980a; Holdgate et al., 1982) de acuerdo al tipo de vegetación en relación a condiciones climato lógicas. La clasificación va desde las 193 provincias biogeográficas identificadas por Udvardy en su clasificación para la UNESCO y la UICN, hasta los cuatro principales tipos de bosques citados por Kenyon (1975). Ya que el presente no constituye un trabajo exhaustivo sobre bosques del mundo, y nuestra finalidad es presentar solamente el impacto biológico ejercido contra estos ecosistemas, -- nos referiremos principalmente a los dos grandes tipos de bosques claramente identificados en cualquiera de las clasificaciones de - referencia: bosques tropicales lluviosos y bosques templados. En - el apéndice III se presenta una clasificación más amplia, incluyendo algunos ejemplos de ecotonos forestales.

#### Los bosques en cifras.

Según Norman Myers (1984a) los científicos no se han puesto de acuerdo, incluso con un margen de 50% de más o de menos, sobre -- cuánta vegetación hay sobre la Tierra, no obstante hemos seleccionado algunas de las fuentes más confiables para llegar a una eva-- luación promedio aceptable. De acuerdo con algunas de éstas (FAO, - 1979 y 1985a; PNUMA, 1980a y 1983) la tercera parte de la superfi-- cie total de las tierras emergidas, está cubierta de vegetación le ñosa, de ésta, más de las dos terceras partes son bosques.

La cubierta forestal del mundo en 1980 comprendía:

	%	millones de hectáreas
- bosques	32.78	4,287.50
- pastos permanentes	23.83	3,116.55
- tierras de labranza y cultivos permanentes	11.11	1,452.99
- otras tierras	32.24	4,217.00



De ella, los bosques se distribuían de la siguiente manera:

- bosques templados	2,036.8 millones de has.	
- bosques tropicales	1,935.2	"
- bosques de zonas áridas	300.0	"
- bosques de manglar	<u>15.5</u>	"

Total: 4,287.5 millones de has.

Para 1985, la cubierta vegetal incluía aproximadamente 4,203 millones de hectáreas, ya que durante el período 1980-1985 se perdieron 56.5 millones de hectáreas de selva tropical debido a la tala, y 28 millones de hectáreas de bosques templados debido a:

- incendios forestales, que sólo en Canadá consumen anualmente 1.9 millones de hectáreas
- lluvia ácida, que ha afectado ya cerca de 10 millones de kilómetros cuadrados de continente en Europa y Norteamérica.

La tala de los bosques templados es compensada en su mayoría por la reforestación (PNUMA, 1983; Lanly, 1983; Myers, 1984a; FAO, 1985 a y b; Wardle, 1985).

Existen diversas características que diferencian a las selvas tropicales de los bosques templados y fríos, acaso la primera de ellas sea la adaptación a su ubicación geográfica, clima y suelo en particular. Los bosques tropicales se encuentran en la región ecuatorial del planeta con elevadas precipitaciones y temperaturas a lo largo del año, de hecho no conllevan el cambio estacional y más bien se han adaptado a medios ambientes constantes y predecibles en general. Los bosques templados-fríos se localizan a partir de la región subártica o subalpina del ecotono tundra-taiga, en donde las temperaturas son bajas constantemente y las lluvias tienen temporadas anuales bien delimitadas.

Los suelos de los trópicos son en general pobres y gran número de selvas se asientan sobre suelos ácidos y superficiales, las zonas templadas se caracterizan - debido a las bajas temperaturas que propician una tasa relativamente lenta de descomposición de la materia orgánica - por tener suelos ricos en humus y profundos; otra característica que salta a la vista es la diversidad de especies tanto vegetales como animales, siendo mucho mayor en los trópicos húmedos

que en las zonas templadas. Un factor limitante para la productividad fotosintética, y por lo tanto para la adecuación individual, es la cantidad de luz que reciben los árboles en uno y otro tipo de ecosistema; conforme aumenta la latitud hacia los polos, en -- particular hacia el hemisferio norte donde se encuentra la mayo -- ría de los masivos continentales y por lo tanto de los bosques -- templados, disminuye la cantidad de luz solar que reciben los bosques y ello se incrementa también con las marcadas estaciones boreales, recibiendo menos luz en invierno que en verano. Ello ha llevado a los árboles --en tiempos evolutivos de millones de años-- a adaptarse desarrollando una arquitectura particular. Es cierto que la construcción de la mayor parte de las dicotiledóneas en general y de las especies de coníferas es parecida, ya que ambas tienen el mismo método básico de crecimiento radial mediante el desarrollo de tejido vascular secundario a partir de un cambium, aunque la periodicidad de este crecimiento es muy variable (Tomlinson y Gill, 1973). No obstante, a partir de este momento, la arquitectura distintiva de cada especie le dará al árbol una forma característica, la que determinará la cantidad total de luz que intercepte y a la vez limitará las estrategias de colocación foliar en las ramas (Horn, 1971).

Así la forma cónica de los pinos en la taiga (el ecosistema -- boscoso más grande del planeta) les permitirá captar en sus hojas aciculares un máximo de energía luminosa, mientras que en los trópicos los árboles emergentes sobre el dosel de la selva extienden sus ramas horizontalmente para captar la mayor cantidad de luz -- posible imponiendo una dominancia de captación lumínica particular sobre las demás especies del dosel. Lo mismo puede decirse en cuanto a su contacto con el suelo en el otro extremo del crecimiento arbóreo, mientras que las raíces de los árboles en zonas templadas tienden a ser profundas y gruesas, los sistemas radiculares de los árboles tropicales son superficiales y finos al punto que forman la estructura misma del "suelo" de la selva. Estas diferen-

cias y muchas más que no señalamos pero que se pueden encontrar - fácilmente en la literatura nos obligan a tratar de manera diferente, por separado, a cada uno de estos biomas tipo. En lo que concierne al impacto biológico, y sus consecuencias sobre estos - ecosistemas, se considera que de no recibir la perturbación humana serían potencialmente inmortales (Whittaker, 1975).

#### Ecosques lluviosos tropicales o selvas.

El bosque lluvioso tropical es uno de los ecosistemas más antiguos de la Tierra, la evidencia fósil en diversas partes del mundo nos dice que ha existido de manera continua desde el período cretácico, hace más de 60 millones de años (Richards, 1973); constituye en sí un sorprendente ejemplo de una biocenosis compleja, en ninguna otra parte del mundo es más obvia la diversidad y la interdependencia de plantas y animales que en la selva tropical (Longman y Jénik, 1974), no obstante no podemos describirla como una mera colección de organismos, la selva tropical es un sistema dinámico de un orden elevado de organización en el que se unen las características morfológicas, fisiológicas y ecológicas de sus miembros individuales. Podemos decir que es el ecosistema más complejo sobre los continentes sólo igualado en el planeta por los también tropicales arrecifes coralinos del océano ecuatorial. Se puede describir, como otros ecosistemas autosostenidos, como "una asociación de organismos productores, consumidores y descomponedores, todos los cuales obtienen su energía del sol", a esta definición trófica de Richards (1973) podemos añadir la climática del PNUMA (1980 a): "... puede definirse al bosque tropical como la zona entre los trópicos donde: a) la temperatura media anual oscila aproximadamente entre 24 y 27°C y la temperatura media mensual no baja de 20 °C; b) la variación diurna media de la temperatura es de alrededor de 8 a 10 °C y es por lo tanto mayor que la variación anual de las temperaturas medias diarias; - c) la precipitación atmosférica anual oscila por lo menos entre 1,500 y 2,000 mm sin un período seco prolongado. La característica principal es la ausencia de estaciones, es decir, hay calor continuo y lluvias casi todo el año". Un estudio de la UNESCO (1978) incide más

en el aspecto vegetal y los identifica como bosques sin una estación seca marcada, en especial bosques higrofiticos y bosques semidecíduos, húmedos y densos, excluidas las tierras de bosques abiertos y sabanas boscosas; y Norman Myers (1979) añade la altitud como característica importante, "bosques siempre verdes o parcialmente siempre verdes, que pueden poseer algunos árboles deciduos, aunque nunca carecen completamente de hojas; de altitudes bajas, hasta los 1,300 metros, aunque a menudo en la región del Amazonas se encuentran hasta una altura de 1,800 metros, y por lo general en el Asia sudoriental sólo hasta los 750 metros; y cuyos ejemplares maduros poseen varios estratos más o menos distintivos" (PNUMA, 1980a).

En breve, llamaremos bosque tropical lluvioso o selva a aquellos ecosistemas continentales complejos que se localizan en las regiones tropicales húmedas del ecuador planetario.

Aunque el término selva es sinónimo de bosque tropical lluvioso se utiliza también para describirlos la palabra jungla, que proviene del hindi; jangal, y ésta del sánscrito; jangala, que curiosamente significa desierto (Ollier y Richards, 1975). Hoy en día jungla significa bosque tropical y denota una vegetación lujuriosa e impenetrable en un medio ambiente cálido y vaporoso rebosante de vida. En adelante usaremos indistintamente cualquiera de los tres términos lo que nos ayudará a tornar menos repetitivo el discurso.

Los bosques tropicales cubren cerca de 1,935.2 millones de hectáreas de esa superficie 1,200.8 millones de hectáreas son bosque -- denso ( aquéllos que con sus diversos estratos y sotobosques cubren

una gran proporción del suelo, impidiendo la llegada de la luz y el desarrollo de una cubierta vegetal continua); y 734.4 millones de hectáreas de bosques claros (formaciones de especies latifoliadas y de pastizales que comprenden una vegetación graminóide continua bajo un dosel arbóreo que cubre más del 10% de la superficie, Lanly, 1983 ; PNUMA, 1983); aquí sólo consideraremos los bosques densos cuya distribución abarca principalmente:

- las tierras bajas de la región amazónica, y otras en América, que comprenden 895.6 millones de hectáreas en 23 países.
- las tierras bajas del río Congo, junto con una zona costera que se extiende de Nigeria a Guinea, y otras en África, abarcando 703.1 millones de hectáreas en 37 países.
- partes de Indonesia, especialmente la isla de Sumatra y -- otros en Asia, comprendiendo 336.45 millones de hectáreas en 16 países.
- y diversas islas en el Océano Pacífico, en pequeñas áreas (Ollier y Richards, 1975 ; Lanly, 1983).

El 96.6% de los bosques densos está formado por especies frondosas, el 2.9% por coníferas y el 0.5% por especies de bambú; los bosques claros están formados casi en su totalidad por especies -- frondosas (Lanly, 1983).

La vegetación leñosa tropical del mundo en 1980 se componía de:

	%	millones de has.
- bosques densos	40.29	1,200.8
- bosques claros	24.64	734.4
- barbechos forestales (1)	13.74	409.46
- tierras de matorrales (2)	20.94	624.1
- plantaciones (3)	0.39	11.6

- (1) mosaicos de vegetación leñosa y en diversos estados de regeneración.
- (2) caracterizadas por el predominio de plantas leñosas de 0.5 a 7 metros de altura.
- (3) bosques artificiales establecidos en tierras que no han estado cubiertas de montes en los últimos 50 años, se excluyen las de caucho, coco, cacao y otras.

Y la distribución geográfica de los bosques tropicales en 1980 era:

Región	Bosques densos		Bosques claros		Total	
	Superficie en miles de hectáreas	% del total	Superficie en miles de hectáreas	% del total	Superficie en miles de hectáreas	% del total
Africa	216 634	18,1	486 445	66,2	703 079	36,3
América	678 655	56,5	216 997	29,6	895 652	46,3
Asia	305 510	25,4	30 948	4,2	336 458	17,4
Total	1 200 799	100,0	734 390	100,0	1 935 189	100,0

(PNUMA, 1983).

Los diez países con la mayor área forestal densa son: Brasil, Indonesia, Zaire, India, Papúa-Nueva Guinea, Birmania, Perú, Congo, Gabón y República Unida del Camerún.

Funciones ambientales. - Las selvas proporcionan muchos servicios ambientales:

- protegen los sistemas hidrológicos
- regulan el clima
- protegen los suelos existentes y forman nuevos suelos
- proporcionan habitat para la flora y fauna silvestre
- constituyen colosales reservas genéticas
- mantienen los nutrientes de los ecosistemas

Todas estas funciones las realizan los bosques tropicales con el solo hecho de existir, son primordiales para mantener el equilibrio bioesférico y no obstante no han recibido el mismo reconocimiento de sus productos más convencionales como la madera o el caucho.

Consideremos la captación de agua, gracias a ella :

- se fomenta el abastecimiento constante de agua para el riego del cultivo húmedo del arroz, entre muchos otros cultivos.
- los bosques ( y no sólo los tropicales) protegen las instala-

ciones para la producción de energía hidráulica de la sedimentación causada por la erosión.

- aseguran un abastecimiento de agua potable de buena calidad para uso doméstico.
- evitan inundaciones que pueden dañar puentes, carreteras, ferrocarriles y otras inversiones en obras públicas.

En contraste con los bienes materiales producidos por la selva, ha sido difícil, tradicionalmente, cuantificar los valores de las funciones ambientales que hemos señalado, sin embargo, debido a las graves consecuencias originadas por la creciente deforestación se ha empezado a comprender cualitativamente el alcance de estos valores.

En el aspecto material, las selvas han proporcionado madera para la industria de la construcción y la fabricación de papel y se considera en general que éstos son los productos naturales básicos, sin embargo Sunderlal Bahuguna, uno de los líderes del movimiento chipko de los aldeanos del Himalaya, dice: "el producto principal de los árboles no es la madera como se piensa, sus productos fundamentales son: suelo, agua y oxígeno" (Clarke y Palmer, 1983).

Consideremos otros beneficios obtenidos de las selvas del mundo, bien explotado este sistema boscoso constituye una fuente renovable de alimentos, medicinas y combustibles, son además el habitat de millones de personas que se dedican a la agricultura, caza y recolección de frutos silvestres, y proporcionan muchos productos químicos que son utilizados en las ciudades a gran distancia de su fuente (Golley y Hadley, 1981).

Acaso uno de los aportes más importantes de la jungla a la humanidad lo constituyen sus recursos genéticos en lo que se refiere a alimentos y medicinas y, por supuesto, como laboratorio viviente de estudio para miles de investigadores, no sólo biólogos sino geólogos, edafólogos, climatólogos, etc. Las plantas de los bosques tropicales han constituido el origen de muchos alimentos que hoy en día conforman la base alimentaria de buena parte de la población humana:

arroz, mijo, mandioca, garbanzo, frijol de mung, yame, taro, plátano, piña y caña de azúcar, por nombrar algunos de los más conocidos. Falta por investigar una enorme variedad de otros alimentos, se estima que cerca de 30,000 especies de plantas han resultado útiles a los habitantes de las localidades selváticas como alimento de uno u otro tipo, no obstante, menos de la décima parte se han llegado a utilizar en forma generalizada; por lo menos - 1,650 plantas de la jungla ofrecen hojas sumamente nutritivas ( - PNUMA, 1980a) y el número crece conforme conocemos mejor estos extraordinarios bancos genéticos. Además, los bosques tropicales contienen muchos parientes silvestres de los cultivos alimentarios modernos, los que son el resultado de la manipulación genética refinada del hombre, empero, requieren un constante mejoramiento con germoplasma fresco a fin de que resistan nuevos tipos de enfermedades y plagas, y tensiones ambientales producidas por el impacto biológico, así como para aumentar su productividad y mejorar su contenido nutritivo. En el curso del presente siglo los recursos genéticos de los bosques tropicales han salvado cultivos importantes: cacahuates, plátanos, caña de azúcar, cacao y café.

Para dar una idea del valor económico mencionemos el cacahuete, que ha sufrido en todo el mundo en las regiones donde se cultiva - una enfermedad que provoca la decoloración de sus hojas y que causa pérdidas anuales por 500 millones de dólares, de acuerdo con el Instituto Internacional de Investigaciones de Cultivos para los Tropicos Semiáridos; el problema se ha superado mediante el cultivo de cepas resistentes de formas silvestres que se encontraron en la -- selva amazónica, y hay registros de información parecida sobre beneficios en gran escala para millones de campesinos del Tercer Mundo con respecto al coco, caucho y palma oleaginosa.

Los bosques tropicales pueden servir también como fuente de organismos que se utilizan en el control biológico de plagas que reducen normalmente la producción alimentaria (Wood, 1971). Por ejemplo las avispas icneumonidas, sobre las cuales hay poca documentación, comprenden muchos miles de especies en los bosques tropicales



y ofrecen un gran potencial como depredadores y parásitos de plagas de insectos (Debach, 1974) . De acuerdo con estudios efectuados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, los programas de control biológico con importación de organismos para la lucha contra las plagas locales rinden 30 dólares en beneficios por cada dólar invertido en su adquisición y transporte. Por ejemplo, los productores de cítricos en el estado de Florida han economizado de 25 a 35 millones de dólares anuales mediante el gasto único de 35 mil dólares efectuado en la adquisición de tres tipos de avispas parásitas. (PNUMA, 1980a)

Este método para combatir las plagas puede resultar más eficaz y económico a la larga, y producir un menor impacto biológico inmediato, que la aplicación generalizada de productos químicos tóxicos persistentes.

Los bosques tropicales constituyen también el principal depósito de plantas productoras de drogas en la Tierra. Se conocen ya - por lo menos mil quinientas plantas con propiedades anticancerosas y faltan por estudiarse muchas más. En 1960, un enfermo de leucemia tenía una oportunidad en cinco de curarse; ahora las posibilidades se han incrementado a cuatro de cinco casos gracias a las drogas - obtenidas de una planta tropical, Pervinca rosada . Además investigaciones recientes indican que muchos insectos, particularmente - las mariposas, pueden producir compuestos anticancerosos y hay indicios de que la jungla alberga entre 1.5 y 30 millones de especies de insectos, - tenemos mucho que estudiar y aprender de las selvas tropicales.

Otra clase de productos obtenidos comprende materiales especializados de uso industrial, tan solo en Asia sudoccidental se obtiene de la selva: látex, gomas, alcanfor, damnor, resinas, tintes y aceites esenciales, los que recientemente han adquirido gran importancia ; muchas plantas de la jungla tienen semillas ricas en aceites, por ejemplo la palma de babasú, la palma de seje, varias especies del género Cariocar y varios otros árboles de la región del Amazonas. El fruto de la palma de babasú contiene hasta un 72% de aceite que puede servir de sustituto del aceite diesel y utilizarse para producir fibras, piensos, jabón, detergentes, almidón

y productos alimentarios.

Muchas otras plantas de los bosques tropicales podrían ofrecer beneficios de gran utilidad para la humanidad si se pudiera investigar su potencial económico antes de que fueran eliminados sus habitats forestales. Hasta hace poco tiempo los árboles de ramin y kuku del Asia sudoccidental eran considerados como malas hierbas, hoy gracias a su mejor conocimiento es utilizada su madera en la industria (PNUMA, 1980a); hace un siglo el valor del árbol productor del caucho no se conocía ni remotamente, lo más probable es que en la selva tropical haya miles de especies vegetales, animales y microorganismos de gran utilidad para el hombre de los que ni siquiera sospechamos, sólo el estudio amplio y profundo de la jungla y sus especies nos podrá dar la respuesta, de ahí nuestra preocupación por su perturbación debido a la tala y otras formas que adopta el impacto biológico.

Riqueza de especies. - Los bosques se distinguen unos de otros - en primer lugar por su composición, el número y variedad de especies presentes en la comunidad depende de la edad y densidad de la cubierta arbórea, del tipo de clima y suelo y de la historia geológica de la región (Kenyon, 1975). Alwin Gentry, del jardín botánico de Missouri, que ha trabajado en la región del Choco en Colombia (costa pacífica), dice que ha encontrado en sitios de muestreo equivalentes a la décima parte de una hectárea, 208 especies diferentes de árboles, y añade que en un bosque de zona templada como los de las montañas Ozarks, en Missouri, uno puede encontrar solamente 25 especies en una área similar, en otras menor número. Se dice que las islas británicas contienen cerca de 1,450 especies de plantas vasculares (árboles, arbustos y hierbas), Gentry ha encontrado 1,100 especies en 260 hectáreas en el Choco Colombiano -- (White, 1983).

Las estimaciones de cuántas especies vivas de seres existen en la tierra varían ampliamente: de tres a 10 millones, tal vez más - (Clarke y Palmer, 1983), de las cuales la mayoría son insectos. Los biólogos piensan que por lo menos las dos terceras partes de todas las especies existen en los trópicos y más de la mitad de ellas en las

selvas tropicales (PNUMA, 1984), es decir, que es probable que por lo menos una de cada tres especies vivas de la Tierra habitan la jungla en el cinturón ecuatorial, de ellas sólo una fracción ha sido clasificada por los taxónomos, y aproximadamente 1.5 millones del total de especies han sido registradas. Sólo en los bosques tropicales de África se encuentran cada año más de 200 especies nuevas de vegetales (Clarke y Palmer, 1983) y en Amazonia se calcula que existen más de 40,000.

D.H. Murphy, de la Universidad de Singapur, dice que la jungla es el principal recipiente del depósito genético de la Tierra, el recurso más importante que tenemos: información. De hecho - podemos ver a los bosques tropicales como un gigantesco banco de memoria que ha evolucionado a través de muchos millones de años, constituyen la principal biblioteca de experiencias de la naturaleza de la cual la humanidad puede aprender todavía mucho, por ello Norman Myers ha dicho que destruir la selva es como quemar nuevamente la antigua Biblioteca de Alejandría (White, 1983).

Es decir que las selvas antiguas y complejas han venido acumulando con el tiempo un número extraordinario de especies de organismos de todo tipo, por ejemplo, durante un estudio realizado por la Academia de Ciencias de los Estados Unidos en una zona tropical, abarcando una área de 10 Km<sup>2</sup> se identificaron 750 especies de árboles, 1,500 especies de angiospermas, 125 de mamíferos, -- 400 de pájaros, 100 de reptiles y 60 de anfibios y se calculó que podría haber cerca de 42,000 especies de insectos; faltaría por determinarse un gran número de otros organismos: fungi, protista y monera, lo que seguramente llevaría las cifras a valores aún más elevados; esta extraordinaria diversidad de vida es característica de los trópicos, en el mar los arrecifes coralinos, y los manglares y lagunas costeras no se quedan atrás, muchos estudios se han realizado sobre esta diversidad relacionándola con el clima, el espacio de nicho y otras dimensiones del ambiente (Longman y Jénik, 1974; Whittaker, 1975; May, 1975; MacArthur, 1975).

La diversidad es tan grande que varía de hectárea a hectárea, de distrito a distrito y de continente a continente. Así los bosques tropicales del Viejo y Nuevo Mundo son similares en apariencia general y estructura, no obstante, casi no tienen especies animales comunes y muy pocas plantas lo son (Richards, 1973; Longman y Jénik, 1974). Por ejemplo, los colibríes, numerosos en las junglas americanas, están ausentes de las de Africa y Asia y lo mismo sucede con las bromeliáceas.

Una resultante de la gran diversidad es la baja densidad poblacional, en efecto y contrariamente a lo que sucede en los bosques templados, uno debe buscar a veces decenas o incluso cientos de metros a la redonda para encontrar dos árboles de la misma especie. Además la diversidad no es homogénea, Longman y Jénik (1974) señalan que en las junglas del sureste asiático es normal encontrar más de cien especies de árboles por hectárea, estimaciones recientes indican que incluso el número de especies arbóreas puede alcanzar los 400 individuos por hectárea, mientras que en regiones de Africa relativamente más pobres en especies es típico encontrar menos de 100.

¿Qué significa exactamente la diversidad de especies?, algunas comunidades complejas como los arrecifes de coral y las selvas tropicales consisten de miles de especies de diferentes organismos, mientras que otras comunidades como los desiertos verdaderos, la tundra o el océano abierto se forman de un número menor de especies, decenas o cientos de ellas. El número de especies varía incluso a nivel local a veces en forma considerable, este número es llamado también riqueza de especies o más frecuentemente densidad de especies, las comunidades que tienen densidad de especies similares difieren no obstante por el hecho de que algunas contienen pocas especies comunes y muchas especies raras, mientras que otras están con formadas de especies de abundancia intermedia; la abundancia

es solamente una forma de estimar la importancia relativa de las especies dentro de una comunidad, esta importancia varía dentro y entre comunidades.

La densidad de especies y su importancia relativa se han combinado en el concepto de diversidad de especies (Pianka, 1974), en términos generales ésta es mayor en los trópicos que en las regiones templadas (de alta latitud) o que en zonas -tropicales o no-de elevada altitud, de tal manera que se puede hablar de un gradiente maestro de diversidad (Whittaker -- 1975).

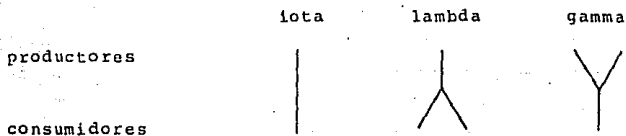
En la jungla la gran diversidad de organismos presentes - puede clasificarse en tres grupos fundamentales (Thienemann, 1977):

- productores, normalmente organismos autótrofos, plantas verdes llamadas también productores primarios.
- consumidores, organismos heterótrofos, normalmente animales.
- reductores, organismos saprobios, como bacterias y hongos

Estos tres grupos corresponden a una clasificación dinámica del ecosistema ya que implican el paso de la energía solar desde de su captura por las plantas hasta su liberación final por los organismos reductores, es decir, que constituye una - clasificación trófico-dinámica de acuerdo al concepto desarro llado por Lindeman en 1942: " el proceso básico en la dinámi- ca trófica es la transferencia de energía de una parte del -- ecosistema a otra. Toda función, y por supuesto toda la vida, dentro de un ecosistema dependen de la utilización de una fuente externa de energía, la radiación solar".

La energía fluye entonces siguiendo en general un gradien- te vertical, que se inicia con la captación máxima de luz en el dosel por las especies emergentes, y culmina en el suelo de la selva a donde llega mínimamente en forma directa pero con centrada en la materia orgánica en descomposición que se en - cuentra aquí donde es procesada por los reductores.

Se establecen pues entre las diversas especies de la jun gla relaciones alimentarias o tróficas que forman cadenas en relación uno a uno (planta comida por un consumidor primario o herbívoro) o bien en relaciones múltiples, entrelazadas, - comúnmente llamadas redes tróficas (Cohen, 1978), éstas pueden constituir estructuras altamente ramificadas. Harper (1977) reconoce tres formas de relación que constituyen los eslabones o uniones de las redes tróficas y los llama eslabones - iota, lambda y gamma de acuerdo con la configuración espacial de estas letras griegas:



Tradicionalmente se ha pensado que estas complicadas relaciones alimentarias en el paso de la energía solar a través de la biomasa de la jungla conducen a la formación de un ecosistema extremadamente complejo pero de gran estabilidad (Richards, 1973), pero autores como Krebs (1972) dudan de este principio - y May (1973) señala que "no hay un teorema confortable que asegure que la diversidad y complejidad crecientes resulten en el ac re ce n tamiento de la estabilidad de la comunidad".

Una característica importante de las especies que componen una comunidad es la dominancia, se refiere al hecho de que en una comunidad no todas las especies son igualmente importantes en la determinación de su naturaleza. De las varias especies - comunitarias sólo algunas ejercen la principal influencia de - control, ya sea en virtud de su tamaño (biomasa del soma), de su número (densidad) o de sus actividades (dimensión de nicho). - Las especies llamadas dominantes son aquéllas de buen éxito desde el punto de vista ecológico (alta adecuación) y son las que -

determinan de manera amplia las condiciones bajo las que deben existir las especies "asociadas"; de esta forma, las especies dominantes ejercen un poderoso control de la comunidad.

La dominancia puede ser alcanzada de tres maneras:

- una especie rara (escasa) puede constituir de hecho una clave importante para la existencia y estabilidad de una comunidad, tal y como lo demostró Paine (1966) con sus estudios de comunidades de intermareas en la Bahía Mukkawu, en Washington, con la estrella de mar Pisaster ochraceus que no es la especie más abundante ni la más productiva de la comunidad, no obstante, debido a sus actividades depredatorias mantiene a la comunidad dentro de cierta estabilidad, " la remoción de Pisaster resultó en una pronunciada disminución de la diversidad, estimada mediante el registro numérico de las especies que habitan el área ya sea que fueran consumidas o no por Pisaster, de un sistema de 15 a 8 especies" (Paine, 1966).
- Una especie de gran talla, como Dryobalanops aromatica, Dipterocarpaceae (60 metros de altura) o Koompassia excelsa, Leguminosae (84 metros de altura) en la jungla Indo-Malasia capta la luz solar antes que los demás individuos (Longman y Jénik, 1974) incrementando así su adecuación e imponiendo a las demás especies una dominancia específica a este nivel.
- Una especie numerosa puede también determinar la naturaleza de la comunidad, por ejemplo, en Norteamérica el arce azucarado (Acer saccharum) determina por su abundancia las condiciones físicas de la comunidad.

En muchas comunidades la dominancia y la diversidad están relacionadas negativamente, así por ejemplo, las selvas tropicales con alta diversidad debieran presentar una pequeña dominancia (Krebs, 1972).

Los bosques tropicales siempre han impresionado a los viajeros debido a su exuberante vegetación y rica vida animal, tal vez la primera descripción de selvas americanas en la Isla Española del Caribe la dio el Almirante y descubridor Cristóbal Colón: " Sus tierras están... llenas con árboles de mil clases diferentes, tan altos que parece que tocaran el cielo..." (Bellamy, 1977), descripciones parecidas en relación a su riqueza de especies fueron hechas en su oportunidad por Von Humboldt, Bates, Darwin y Wallace por mencionar a algunos de los grandes naturalistas de la Historia que en su oportunidad se maravillaron como podemos hacerlo nosotros - todavía - de la extraordinaria diversidad viviente de la jungla donde quiera que ésta se hallase: África, India, Malasia o América y la cuenca amazónica.

Pero lo que más nos sorprende hoy en día de las selvas es el hecho de estar sustentadas encima y a partir de suelos relativamente pobres; hay dos tipos principales de selva aunque puedan parecer idénticas a primera vista (Golley y Hadley, 1981):

- selvas que crecen en suelos ricos en nutrientes y en general más jóvenes derivados de sedimentos aluviales o de cenizas volcánicas.
- selvas que crecen en suelos más antiguos que han perdido gran parte de sus nutrientes debido a las intensas lluvias ecuatoriales y que con el paso del tiempo se han tornado ácidos, en ellos los nutrientes no se encuentran ya en el suelo sino en la propia biomasa vegetal ( Ollier y Richards, 1975). Estos suelos son típicos de las altas tierras de la cuenca del Amazonas donde la biomasa vegetal alcanza 400 TM/ha. y los suelos tienen un pobre contenido de nutrientes.

Entendemos por nutrientes aquellos elementos químicos que son esenciales para la vida, se dividen en tres categorías:



- los cuatro bloques principales de construcción de la materia viviente (C,O,H,N)
- Los siete macronutrientes que son requeridos por los organismos en cantidades pequeñas pero significativas (Na,Mg,P,S,Cl,K,Ca)
- los trece micronutrientes o elementos traza que en diminutas cantidades realizan funciones esenciales (F,Si,V,Cr,Mn,Fe,Co,Cu,Zn,Se,MO,Sn,e I).

Podemos decir que la aptitud de cualquier ecosistema terrestre o marino para sustentar vida depende de la disponibilidad de nutrientes en formas y cantidades apropiadas. Los procesos que regulan su disponibilidad (o la falta de ésta) se conocen en forma colectiva como ciclos de nutrientes o ciclos biogeoquímicos debido a la forma en que se mueven cíclicamente a través de las partes viviente y no viviente del mundo físico. Estos ciclos funcionan sustentando la vida no sólo por hacer asequibles los nutrientes continuamente, es decir manteniendo la fertilidad del medio, sino también limitando la acumulación de estos materiales en cantidades, formas y lugares en que podrían dañar a los seres vivos.

Ahora bien, debido a las condiciones geológicas y atmosféricas de la cuenca amazónica y de la mayor parte de las selvas tropicales del mundo, tiempo ha que los ciclos naturales de disponibilidad de nutrientes fueron destruídos, es decir, el flujo entre el suelo propiamente dicho y los organismos que otrora se sustentaban en él, ya no existe. Los árboles y otras plantas de la jungla resolvieron evolutivamente el problema desarrollando su propio reciclaje de nutrientes merced a una extraordinaria adaptación de sus sistemas radiculares.

Para comprender lo extraordinario de este mecanismo particular evolucionado por los bosques tropicales consideremos que las raíces son naturalmente las vías a través de las cuales los 24 nutrientes señalados se incorporan a la biósfera terrestre. Las raíces constituyen los agentes que realizan uno de los procesos claves en la química natural: el proceso que libera del

suelo los nutrientes inorgánicos almacenados, sin los cuales la vida como la conocemos no existiría, además, captan del suelo el agua y la suministran a la planta, para todo ello. Las raíces desarrollan una serie de actividades metabólicas que son comunes a todos los tejidos vegetales; crecen y se desarrollan, respiran, sintetizan y degradan diversos compuestos, (Epstein, 1973) y mientras tanto cumplen una función singular, el minado de los nutrientes minerales del suelo.

Los ecólogos estiman que la producción anual total de biomasa por las plantas terrestres es de cerca de 100,000 millones de toneladas métricas, y considerando que el contenido mineral de las mismas es de casi el 5% resulta que el sistema radicular de las plantas terrestres mina cada año un valor aproximado de 5,000 millones de toneladas métricas de minerales, es decir que el producto de la interacción raíz-suelo adopta dimensiones que incluso sobrepasan (en peso bruto) la minería humana (Epstein, 1973).

Los científicos han demostrado que la clave de la productividad forestal radica en una serie muy compleja de mecanismos que conservan los nutrientes de la selva natural, ésta actúa como una enorme esponja y absorbe los nutrientes del sistema. En la capa inmediata superior a la superficie del suelo se desarrolla "un colchón" formado de raíces, hongos, microorganismos y humus que retiene y permite la reutilización de los nutrientes liberados por la descomposición de la materia orgánica; en selvas asentadas sobre suelos lateríticos, este colchón puede alcanzar un espesor de casi 30 cm. y se le puede despegar del suelo como si fuera una alfombra (Golley y Hadley, 1981).

Cuando hojas, frutos, ramas, excrementos, cadáveres y otros materiales orgánicos caen desde los diferentes estratos de la jungla inmediatamente empiezan a descomponerse, y la mayoría de los nutrientes que se desprenden durante el proceso no llegan a penetrar en la tierra sino que son absorbidos por ese "colchón" viviente del piso de la selva y reincorporados a los árboles

y otras plantas de la comunidad.

El conocimiento sobre este proceso es producto de una investigación que se realizó en San Carlos de Río Negro en la amazonia venezolana, utilizando fósforo y calcio marcados radioactivamente, y se demostró que más del 99% de estos elementos nutrientes fueron absorbidos por las raíces del colchón, lo que indica que prácticamente todos los nutrientes en disolución procedentes de la materia orgánica en descomposición, o los que provienen del agua de lluvia, pasan directamente a las raíces sin llegar al suelo mineral. Es decir que la capa radicular en el piso de un bosque tropical intacto impide la pérdida de nutrientes del sistema, el reciclaje es casi absoluto y el sistema funciona -desde esta perspectiva- como un sistema autorreciclado. Esta es la razón, como se verá más adelante, por la que la destrucción de la cobertura arbórea y vegetal genera la destrucción de la capa radicular, y por lo tanto produce una perturbación de un impacto biológico tal que lleva a la destrucción del ecosistema y en su momento a la extinción de las especies. De esta forma se ponen de manifiesto las estrechas relaciones que mantienen entre sí los miembros de la --- sinusia y las especies animales asociadas.

Es tan coñida la relación y tan compleja la red trófica de muchos organismos que al destruir un pedazo del bosque resulta afectada una región considerablemente mayor; podemos dar una elemental clasificación ecológica de las plantas de la selva que nos permita comprender sus estrechas relaciones (Bellamy, - 1977):

- plantas de autoaporte mecánico y trófico: árboles, arbustos y hierbas.
- plantas que requieren de sostén
  - para alimentarse: parásitas y saprófitas
  - para detenerse: trepadoras, estranguladoras y epífitas.

Son tan intensas (numéricamente hablando) las relaciones entre estos ocho grupos, que en la Amazonia se han encontrado hasta 80 plantas diferentes asociadas a un solo árbol - (Bramwell, 1975), sin contar gran número de especies animales que interactúan con él y que bien puede calcularse en decenas y tal vez en cientos de diferentes animales: aves, mamíferos, (roedores), reptiles, anfibios y, en mayor número que todos, los insectos, muchos de los cuales actúan como polinizadores de la rica flora tropical (Frankie, 1980; Longman y Jénik, 1974).

Estudios recientes (Perry y Merschel, 1981; Perry, 1984) demuestran que buena parte de la diversidad vegetal y animal de la selva se encuentra en la canopia o dosel " en donde se produce el 80% de la comida del sistema", se han encontrado -- por ejemplo, 65 familias de epífitas que comprenden casi 28,000 especies, y en la reserva forestal de Monteverde en Costa Rica, Nalini Nadkarni, de la Universidad de Washington, encontró que las epífitas proveen el 40% de los nutrientes almacenados en el -- follaje, el número de otras plantas y animales, pájaros, insectos y otros que habitan a este nivel de estratificación del bosque es sorprendente y apenas se empieza a conocer.

A pesar de la altura que alcanza la selva con sus árboles-emergentes y del dosel, no obstante la tremenda productividad del sistema, 2,200 grs/m<sup>2</sup>/año (Whittaker, 1975), pese al gran número de organismos y la extraordinaria complejidad de sus redes tróficas, no obstante la valiosa adaptación de sus sistemas -- radiculares y empero encontrarse en una zona predecible, con un clima constante y sin variaciones bruscas, la selva es un -- ecosistema frágil.

Su fragilidad ha llevado a algunos científicos (Gómez-Pompa, Vázquez-Yanes y Guevara, 1972) a calificar estos bosques de recurso no renovable y a numerosos debates sobre el carácter -- irreversible de su desaparición, en esta característica los -- bosques tropicales húmedos difieren de los de las zonas templadas, en donde muchas especies de árboles pueden continuar --

existiendo como especímenes aislados, con medios de dispersión eficaces y con semillas latentes que pueden permanecer inactivas durante largos períodos.

Para poder predecir y evaluar las limitaciones biológicas que impiden, o debieran impedir, la perturbación de la selva es preciso estudiarla para conocer todas sus características y determinar en qué medida éstas facilitan la perturbación o la hacen imposible. Podemos considerar por ejemplo tres características de las cuales ya hemos hablado y que complementamos aquí:

- diversidad de especies, las especies tropicales son - sumamente sensibles a todos los tipos de perturbación debido a que, habiendo evolucionado en condiciones ambientales relativamente constantes, tienen por lo general una baja tasa de reproducción, un período de latencia corto o inexistente (Moreno, 1976) aunque puede haber excepciones (Longman y Jénik, 1974 ; Vázquez-Yanes, 1976) y una dispersión de alcance reducido, además las especies tropicales tienden a ser muy especializadas en cuanto a la utilización del habitat.
- reproducción, se sigue teniendo muy poco conocimiento sobre los mecanismos reproductivos de las especies de los bosques tropicales (PNUMA, 1980a). Ello se debe generalmente al alcance limitado de la dispersión de semillas y a condiciones muy especiales que requiere su germinación y el establecimiento satisfactorio de plantas, más el efecto de la materia viviente y el humus sobre la disponibilidad de nutrientes.
- ciclo de nutrientes y equilibrio hídrico, como hemos señalado ya, más de la mitad de los nutrientes, a veces hasta el 80%, se concentran en la biomasa y en el estrato superior del suelo, en donde se establece un rápido reciclaje de los detritus y su transferencia por medio de micorrizas a las raíces vivas, lo que permite al bosque prosperar incluso en suelos ferrolíticos.

Sin embargo, ocurre cierta pérdida como resultado de un escurrimiento lento, superficial, pero activo, entre los desechos sobre el piso de la selva y el suelo mismo. En la región del Amazonas se ha observado que menos de la mitad de la precipitación pluvial anual total se escurre hacia los ríos ya que el resto vuelve a la atmósfera por medio de la evapotranspiración, buena parte de la lluvia proviene de las modalidades de circulación de la humedad dentro de la región y no de fuera de ésta (PNUMA, 1980 a). Esto significa que la selva actúa como fuente de gran parte de su propia humedad. Por ello las consecuencias del despeje de bosques tropicales pueden ser considerables. Cuando se tala una parte del bosque hidrofítico, el resto puede resultar menos capaz de evapotranspirar la misma cantidad de humedad que estaba circulando antes en todo el ecosistema, a su vez, esto puede significar un ecosistema que se deseca paulatinamente lo que ocurre con cada reducción del área forestal.

La pérdida de humedad en la biomasa tiene un significado importante en relación al suelo, ya que como hemos señalado, buena parte de las selvas del mundo se encuentran sobre suelos pobres, muchos de ellos incapaces de retener y proporcionar a los árboles la humedad y nutrientes minerales. No obstante, la disponibilidad de lluvias en la región puede ayudar a reconstituir el bosque vía sucesión secundaria ya que, como señalan Longman y Jénik (1974), ecológicamente hablando, uno de los factores más poderosos que regulan el patrón de vegetación tropical es la lluvia. No obstante en zonas más secas (que se producen por el proceso antes señalado de despeje del bosque o bien de manera natural) la sucesión se hace regresiva, llegando finalmente a un deterioro irreversible del suelo.

Por todo ello resulta evidente que los ecosistemas tropicales son muy complejos, muy dinámicos y muy frágiles. Aunque estables en ambientes constantes (lo han sido por millones de años, Perry, 1984) son sensibles a las intervenciones súbitas,

particularmente a las del hombre; la perturbación humana - adopta diferentes características:

- remoción de individuos o de especies
- explotación excesiva de parte de la biomasa
- exposición del suelo a la luz, etc.

y todas ellas tienen con frecuencia consecuencias irreparables, el impacto biológico en estos ecosistemas es camino de una sola vía y en general conduce a la extinción.

La selva en peligro. - En su estado natural la selva tropical es claramente un ecosistema muy estable, a través de la selección natural ha adquirido la habilidad para sobrevivir a todos los peligros a los que se ha enfrentado en su millonaria historia, desde luego no pudo haber adquirido resistencia a riesgos que nunca había experimentado y que han surgido apenas en los dos últimos siglos. Estos peligros modernos son producto del impacto del hombre "civilizado", éste ha entrado en la jungla en cantidad tal y a un nivel cultural y tecnológico mucho mayor que el de los pequeños grupos de cazadores y recolectores, quienes eran sus únicos habitantes. Enfrentada al hombre moderno con su arsenal de potentes sierras, bulldozers y herbicidas, el bosque tropical está retrocediendo por primera vez y se encuentra en peligro incluso de desaparecer (Richards, 1973).

Las palabras de Gómez-Pompa, Vázquez-Yanes y Guevara (1972) son elocuentes al respecto:

" toda la evidencia disponible sostiene la idea de que bajo el presente uso intensivo de la tierra en las regiones de bosques tropicales, los ecosistemas están en peligro de una extinción masiva de la mayoría de sus especies... esto podría significar la pérdida de millones y millones de años de evolución no sólo de especies vegetales y animales sino también la destrucción de las comunidades bióticas más complejas en el mundo".

Es difícil cuantificar con precisión la magnitud del "enfrentamiento" del bosque con la civilización moderna, no obstante, se estima que para mediados del siglo XX, la humanidad había reducido ya el área forestal original de un 33 a un 50% (Holdgate et al., 1982), bosques que cubrían al norte de África una tercera parte de los territorios que hoy se conocen como Marruecos, Algeria y Túnez se han reducido a casi 10% del área original y en China la cobertura actual no llega al 8% de la que existía previamente.

Europa central y occidental fueron fuertemente taladas en tiempos prehistóricos, pero el aclareamiento con propósitos agrícolas procedió sostenidamente de la revolución neolítica en adelante. En Norteamérica se sabe que los indios quemaban los bosques deliberadamente para aumentar el área habitacional del búfalo; la colonización del Nuevo Mundo, en el siglo XVI, por europeos acompañados generalmente de rebaños de ganado, ovejas y cabras, aceleró el proceso de destrucción sobre buena parte del continente; la expansión de la minería y el trabajado de los metales provocó igualmente gran alteración en los bosques, primero en la Europa Medieval y posteriormente en América. La cubierta boscosa en las laderas inclinadas de los Himalayas, los Andes y África oriental se ha reducido en aproximadamente 1 millón de kilómetros cuadrados; en África, al sur del Sahara, la reducción ha implicado también aproximadamente 100 millones de hectáreas; las pérdidas han sido continuas y constantes a través de la historia, pero el impacto se ha amplificado con creces en nuestro siglo.

De acuerdo con Brown et al. (1985), FAO (1985a) y PNUMA (1985) cada año se desmontan 7.5 millones de hectáreas de bosques densos y 3.8 millones de hectáreas de bosques claros, lo que equivale aproximadamente a la superficie conjunta de Austria y Suiza; en total estos 11.3 millones de hectáreas representan la desaparición de 30,958 hectáreas por día, una hectárea tala da cada 3 segundos! Pero un estudio realizado por Norman Myers



para la Academia de Ciencias de los Estados Unidos, en 1978 y 1979, afirma que los bosques se van alterando a un ritmo de por lo menos 20 millones de hectáreas por año (PNUMA, 1980a) este tipo de estudios comprenden no sólo la conversión completa sino también la degradación severa causada por las actividades de la tala, el sobrepastoreo, la sobreexplotación para obtener leña o por fenómenos naturales como incendios, o bien plagas y enfermedades (PNUMA, 1984), que afectan a las selvas con un cierto grado de perturbación. Peter White (1983) explica esta diferencia en las estimaciones de acuerdo a los criterios que se emplean durante la investigación, para los biólogos, las pérdidas significan dos cosas :

- remoción total de la biomasa forestal
- modificación del bosque debida a diferentes grados de perturbación, lo que implica generalmente empobrecimiento biológico ( Brown et al., 1985; FAO, 1985a; PNUMA, 1985)

Así considerada, la pérdida de 20 o más millones de hectáreas anuales de los bosques tropicales implica su desaparición a un ritmo de 55 mil hectáreas por día, casi una hectárea destruída cada 1.5 segundos, el impacto biológico es brutal y en muchas ocasiones definitivo pues al desaparecer la biomasa forestal con ella desaparece también la rica diversidad animal de que hemos hablado ya; para algunos árboles y plantas en general existe la posibilidad de sobrevivencia vía cultivo comercial como es el caso de plantaciones de: Aucoumea, Dryobalanops, Terminalia, Shorea, Cedrela, Swietenia, etc. (Longman y Jénik, 1974) pero para la mayoría de los organismos de la jungla significa extinción, y en todo caso, la selva es irrecuperable al destruirse las condiciones especiales que le daban vida. - Myers añadió en 1980 que además cerca de 10 millones de hectáreas se destruyen anualmente por su conversión a cultivos permanentes, e incluso Sellar y Crutzen, en 1980, estimaron que en todo el mundo se despejan para la agricultura itinerante de

20 a 62 millones de hectáreas por año (Holdgate et al., 1982)

El futuro tampoco es muy halagüeño, de acuerdo con las cifras de FAO (1985b) considerando sólo 11.3 millones de hectáreas de bosques destruidas por año, se calcula que en 30 años, nueve países verán destruidos todos sus bosques densos y otras 13 naciones en 55 años (Clarke y Palmer, 1983). Si no se pone dique a esta destrucción los bosques húmedos tropicales primarios de tierras bajas desaparecerán en todo el mundo quizá antes de fines de siglo, salvo en lugares inaccesibles y en un pequeño número de reservas biológicas (Golley y Hadley, 1981), ver apéndice IV.

De acuerdo con el PNUMA (1984) para el año 2,000 se habrán perdido como mínimo el 12.5% de los bosques tropicales, un informe de tres volúmenes titulado "Las selvas tropicales: un llamado para la acción" redactado por el Instituto de Recursos Mundiales con sede en Washington, hace la advertencia de que el 40% de la riqueza de las selvas tropicales del mundo ha sido ya talada o degradada (Steele, 1985). A la vez un estudio conjunto FAO-PNUMA (PNUMA, 1984) estima que la plantación de árboles con fines industriales y no industriales representa sólo el 10% de la superficie talada anualmente de bosques tropicales, es decir, que de tener buen éxito las plantaciones en un período de 10 a 30 años se recuperará solamente uno de cada diez árboles talados hoy, pero la selva y su exuberante riqueza jamás se recuperará con plantaciones.

¿A qué se debe la tala de selvas tropicales?, los principales tipos de utilización del recurso son (PNUMA, 1980):

- agricultura
  - de plantación
  - forestal
  - estable
- ganadería
- cosecha de madera
  - industrial
  - leña

El análisis de cada uno de estos puntos nos permitirá una mejor comprensión de la perturbación tropical.

Agricultura. - En cuanto al aspecto agrícola destaca la llamada agricultura forestal, en ella el cultivador despeja un pedazo de bosque de casi todos sus árboles y luego quema la madera. Por ello se puede dar a la agricultura forestal el nombre genérico de agricultura de cortar y quemar, expresión que frecuente pero erróneamente se emplea en el sentido limitado de agricultura migratoria (PNUMA, 1980 a); es mediante esta agricultura itinerante o migratoria, tal como se la conoce popularmente, que la agricultura forestal ha sido una práctica establecida en las selvas tropicales desde hace miles de años, en ella un agricultor sigue un modo de vida localmente migratorio debido al tipo rotativo de agricultura que practica: corta y quema un pedazo del bosque, cultiva durante dos o tres años hasta que el suelo pierde su fertilidad o hasta que las malas hierbas llegan a ser un obstáculo o hasta que las plagas de insectos se convierten en un problema; entonces pasa a otro pedazo de bosque y repite la operación, con el tiempo regresa a su ubicación original. Resulta una estrategia agrícola que ha permitido al agricultor hacer un uso sostenido del medio ambiente forestal, el sistema funciona bien mientras haya sólo unos pocos agricultores por kilómetro cuadrado (generalmente menos de 5 según las circunstancias locales) y siempre que el pedazo de tierra forestal cultivada pueda dejarse en barbecho de 10 a 20 años a fin de que se pueda autorrenovar.

Sin embargo en nuestros días el cuadro ha sufrido un cambio fundamental, en muchas regiones el número de agricultores migratorios ha aumentado hasta el punto en que hay a menudo tres veces más personas por kilómetro cuadrado que anteriormente, con la consecuencia de que se encuentran con menos espa

cio en qué hacer la rotación. El resultado es que tienden a utilizar en forma tanto intensiva como extensiva los ambientes forestales lo que no deja a los ecosistemas locales tiempo suficiente para recuperarse, el problema mayor surge ahora de las oleadas de campesinos de agricultura de subsistencia que al verse desposeídos de tierra de cultivo para su creciente población penetran en las selvas, cortando y quemando, y al carecer de una cultura forestal, dejan tras ellos un mosaico de tierras de cultivo deterioradas y matorrales en el que no hay perspectiva de que la selva se restablezca incluso en forma secundaria empobrecida.

Se ha calculado que a mediados de la década de los setenta el total de estos agricultores forestales ascendía por lo menos a 140 millones de personas que ocupaban unos 2 millones de kilómetros cuadrados, o sea más de la quinta parte de todos los bosques tropicales. Se cree que de estos 140 millones aproximadamente 50 ocupan por lo menos 64 millones de hectáreas de bosques primarios y otros 90 millones de agricultores ocupan una superficie dos veces mayor. Según las mediciones preliminares que se han hecho, queman por los menos 10 millones de hectáreas anualmente; la pérdida total por regiones es:

Asia sudoriental	8.5 millones de hectáreas
Africa	4.0 millones de hectáreas
América	5.0 millones de hectáreas
Total	17.5 millones de hectáreas

Hay buenas razones para creer que la cifra de 140 millones de personas representa un mínimo, con un promedio de 7 personas por familia (cifra aceptable en Indonesia, Filipinas, Tailandia, América Central y Colombia, entre otros), esto significa que hay unos 20 millones de familias realizando la agricultura forestal.

Por lo general cada familia bien puede despejar una -- hectárea adicional por año, es cierto que ésto no representa un área pequeña para una sola familia en lo que se refiere a mano de obra, aparte de otros factores, pero mientras que en zonas densamente pobladas cada familia puede despejar bastante menos de una hectárea, en otras zonas una familia puede sentirse en libertad de despejar bastante más y en partes de Amazonia, especialmente en las zonas más secas donde el bosque puede quemarse rápidamente, un incendio que ha sido comenzado por un sólo agricultor y que se deja correr libremente puede quemar un área apreciable de bosque antes de que se extinga el fuego, se cree que en la amazonia Brasileña se eliminan cada año un millón de hectáreas sólo -- por este motivo ( PNUMA, 1980 a).

Esto significa que todos los agricultores forestales pueden estar despejando entre 10 y 200 millones de hectáreas de selva cada año, claro que se considera que un buen número de -- estos agricultores explotan bosques secundarios, y en ciertos sectores de bosques primarios, como por ejemplo en el Africa-central, la densidad de población es todavía lo suficientemente baja para permitir una utilización sostenida de los bosques. Sin embargo, en general, no es poco realista que los -- agricultores forestales están convirtiendo por lo menos 100 millones de hectáreas de bosques cada año para dedicarlas -- al cultivo permanente (PNUMA, 1980 a).

Además la situación se ha agravado debido a la creciente cosecha de madera. En el curso de su actividad el explotador comercial establece trochas (caminos angostos o veredas) para el transporte de trozas en toda su zona de concesión, por ellas viene un gran número de campesinos de subsistencia que pueden penetrar profundamente en zonas de bosques que hasta el momento habían estado fuera de su alcance debido al carácter impenetrable de la jungla. Al talar más árboles a fin de hacer sus -- cultivos, pronto pueden causar muchísimo más daño y destruc --

ción que el maderero, por ejemplo, se ha calculado que en la Costa de Marfil por cada 5 metros cúbicos de trozas removidos por el explotador de madera, desaparece una hectárea de bos que en manos del cultivador que le sigue, así pues, el efecto destructor de éste último se acelera a causa de la actividad catalizadora del maderero.

Ello no significa necesariamente que tenga que abandonarse este tipo de agricultura o que no pueda volverse estable y productiva, todo depende de la forma en que se usen los bosques tropicales; los agricultores de Borneo occidental cultivan -- granos alimentarios, pimienta, caucho y una docena de legum -- bres distintas y las mezclan con viveros de peces y la ganade ría de pastoreo, sistema que les permite hacer uso permanente de suelos tropicales empobrecidos sin necesidad de trasladarse cada pocos años a un nuevo terreno. Los Lúa de la parte -- septentrional de Tailandia tienen por los menos 120 cultivos -- diferentes, cifra que incluye 75 cultivos alimentarios y 21 me dicinales, más 7 plantas para tejidos y tintes y 20 plantas -- para fines ceremoniales o decorativos, con lo que logran una -- diversidad pequeña pero que recuerda la que existía en la selva que talaron para establecerse. Los Lacandones en el sur de México cultivan hasta 80 variedades de productos alimentarios -- y materias primas en una sola hectárea y explotan el medio fo -- restal circundante para producir hasta 100 especies de frutos y otros alimentos silvestres, 20 variedades de pescado, 6 ti -- pos de tortugas, 3 de ranas, 2 de caracoles, 2 de cangrejos, -- 2 de cocodrilos y 3 de astacos, pequeños camarones de río -- (PNUMA, 1980 a).

Con ello se demuestra ampliamente que si la selva empieza a ser considerada como lo que es, un recurso , y se deja de -- explotar irracionalmente, puede sustentar ciertos volúmenes de población y aún sobrevivir como ecosistema complejo y diverso.

Ganadería .- En América Latina, aunque no en África o en Asia sudoriental, uno de los principales agentes de la conversión de bosques es el ganadero, este empresario despeja el ecosistema forestal completamente a fin de establecer pastizales, estos suelos mantienen su productividad sólo de 6 a 10 años y luego se convierten en matorrales. Esto generalmente no le importa al ganadero, ya que puede trasladarse a otra zona del bosque y comenzar de nuevo, por ello algunos piensan que a esta práctica debería llamársele "ganadería migratoria".

Las razones que se dan para justificarla es que hay que satisfacer la creciente demanda de carne de los países interesados con sus precios en rápido ascenso; varios países latinoamericanos particularmente el Brasil, se esfuerzan por figurar entre los principales exportadores de carne del mundo. En la amazonia brasileña se habían establecido, hasta 1980, 350 grandes haciendas ganaderas con una población de 6 millones de cabezas, lo que ha entrañado la conversión de más de 8 millones de hectáreas de selva tropical. Además se han establecido unas 20 mil haciendas ganaderas de diversos tamaños, pero la cría de ganado está resultando una empresa difícil, los coeficientes de densidad son muy bajos; con frecuencia un animal por hectárea y a veces menos; el ganado tarda 4 años para llegar al estado en que puede ser sacrificado con un peso de 450 kilogramos. A los suelos se les agotan rápidamente los nutrientes y los pastizales dan pasto de calidad cada vez más baja salvo que reciban crecientes cantidades de abono, además, debido al problema cada día más difundido de las malas hierbas tóxicas, algunas granjas han perdido hasta una quinta parte de sus cabezas de ganado.

No obstante, a medida que crece la demanda en el mercado internacional de carne, otros países latinoamericanos particularmente el Perú y Colombia, se proponen convertir en haciendas ganaderas partes de sus bosques de las tierras bajas amazónicas,

en donde con la ayuda de organismos internacionales se ha empezado a aplicar en ellas el modelo brasileño, aunque a menor escala. Bolivia espera abrir sus selvas orientales que están escasamente pobladas y que tienen un área más grande -- que España, en América Central ha habido una rápida expansión de la ganadería de exportación, desde 1950 la superficie de pastizales creados por el hombre se ha duplicado con creces, -- expansión que ha ocurrido casi enteramente a costa de los bosques naturales, dos tercios de los cuales ya han sido despejados; América Central registra la tasa más alta de deforestación en nuestro continente y se estima que ésta aumenta a -- razón del 10% anual, se supone que en menos de 50 años habrán desaparecido todos los bosques de Centroamérica, excepto los de Panamá ( PNUMA, 1983). Casi toda la carne producida en el área se envía a los Estados Unidos en donde, según la Meat Importers Council of America, se la destina al comercio de salchichas y hamburguesas ( Myers, 1978).

Sean cuales fueren las ventajas de la producción de carne, -- este tipo de " explotación forestal " da lugar a una gran -- pérdida de madera (casi ninguna parte de la madera se utiliza), al ganadero, que además recibe subsidios, sólo le interesa asper -- jar herbicidas en la zona por despejar y después prenderle fuego, el resultado es que un promedio de 50 metros cúbicos de madera utilizable por hectárea se hacen humo, lo que representa -- una pérdida de enormes volúmenes de madera y de miles de especies asociadas.

Cosecha de madera. -- La tala comercial deteriora e incluso destruye la cubierta forestal, ello se debe a la fragilidad de la que ya hemos hablado, pero también a:

- los efectos del equipo y las técnicas de extracción.
- el desperdicio en las operaciones de explotación y las bajas tasas de conversión que resultan en la destrucción de dos o más metros cuadrados de madera en pie por cada metro cúbico de troza extraída.



En ciertos bosques tropicales, especialmente en las laderas de las cuencas hidrográficas, se ha observado que la erosión sigue a la extracción de madera y a la construcción de caminos, operaciones ambas realizadas con equipo pesado que destruye la estabilidad de los suelos.

En muchos casos, la cosecha de madera puede tener un efecto notable en los ecosistemas forestales, debido a la diversidad de especies de árboles en los bosques tropicales y junto con el hecho de que los mercados internacionales de madera tienden a aceptar únicamente una pequeña proporción de los tipos de madera disponibles, un explotador comercial procura llevar a cabo una recolección altamente selectiva ( en el mejor de los casos) tomando unos cuantos especímenes escogidos y olvidándose en general de lo que ocurre a los restantes. De los millares de especies de árboles de la Amazonia, sólo unas 50 son ampliamente explotadas aunque se conocen hasta 400 que tienen valor comercial; Africa exporta sólo 35 especies principales y 10 de ellas representan el 70% del total; en el Asia sudoriental los madereros se concentran en menos de 100 especies de árboles, consistiendo las exportaciones sobre todo de una docena de ellas.

Así pues cuando un pedazo de bosque tropical es explotado, sólo unos pocos árboles, por lo general menos de 20 y algunas veces apenas 5, se toman de los 400 existentes por hectárea, sin embargo, la operación maderera puede dejar muchos de los árboles remanentes dañados hasta un punto en que no es posible su recuperación. Con el corte selectivo se acarrearán daños al 41% de los árboles restantes, además los métodos actuales de corte selectivo traen consigo la tala de los mejores árboles de las especies comerciales, con lo cual sólo quedan los árboles más pequeños y menos interesantes en las masas residuales como fuente de semillas para la próxima campaña (Golley y Hadley, 1981).

Los árboles de la jungla están unidos con frecuencia por bejucos, lianas y otras plantas trepadoras, hasta 2,000 por hectárea, y algunas de ellas de más de 200 metros de longitud. Los árboles "comerciales" a menudo son los únicos que llegan a estrato superior en donde, por gozar de la luz del Sol, desarrollan coronas de gran anchura y hasta de 15 metros de diámetro. Cuando se tala uno de estos gigantes, es probable que haga que varios otros se quiebren o sean derribados; además los árboles tropicales son sumamente susceptibles al ataque por agentes patógenos, como resultado de ello una lesión al parecer pequeña, tal como la remoción de un trozo de corteza, puede dejar a un árbol vulnerable a daños irreparables.

Los caminos madereros y las trochas para el transporte, - que algunas veces tienen un promedio de hasta 10 kilómetros de longitud por cada kilómetro cuadrado de bosque explotado, pueden representar, junto con las zonas de depósito y atracadero de trozas, de un 10 a un 30% de la superficie forestal (PNUMA, 1980 a). Los repetidos estudios realizados en Asia sudoriental, donde la cosecha de madera es mucho más grande que en África o América Latina, muestran que la explotación maderera media deja de 1 a 2 tercios de los árboles restantes lastimados y fuera de toda posibilidad de recuperación, además, casi una tercera parte del suelo puede quedar desnudo y en muchos casos compactado como consecuencia del uso de maquinaria pesada.

Desperdicio en las operaciones de explotación forestal y bajas tasas de conversión en la elaboración de la madera.- Los bosques tropicales son a la vez explotados excesivamente y utilizados insuficientemente. Son explotados excesivamente en el sentido de que por cada metro cúbico de madera que es utilizable se destruye por lo menos un metro cuadrado, con frecuencia más, de volumen en pie, y son utilizados insuficientemente en el sentido de que en todos los casos, excepto en el de los bosques

de árboles dipterocárpicos del Asia sudoriental, se remueven no más de 20 a 30 metros cúbicos de madera comercial por hectárea, durante la cosecha que tiene lugar sólo cada 30 o 40 años. A estas pérdidas deben agregarse las que ocurren en el curso del transporte, la desecación y los procesos de acabado de la madera, y otros tipos de pérdidas debidos a las tasas desfavorables de conversión.

La producción anual total de troncos para aserrar y hacer chapas llegó, en 1979, a 139,120 m<sup>3</sup>, de los que el 90% se extrajo de los bosques naturales, esta cifra no comprende la explotación no autorizada, que en algunas zonas representa hasta un 30% del total.

El problema de la cosecha comercial de madera es su creciente demanda, en 1950 los países desarrollados importaron 4.2 millones de m<sup>3</sup> de maderas duras tropicales, en 1973, esta cantidad había aumentado a 53.3 millones de m<sup>3</sup> (Myers, --- 1978) y posiblemente se habrá duplicado para el año 2000; -- desde luego, en las propias regiones tropicales se utiliza mucha madera dura, pero la cantidad consumida localmente, -- sólo se ha duplicado desde 1950, en tanto que las importaciones del mundo desarrollado se han decuplicado con creces, de modo que han superado recientemente el consumo de todos los países tropicales tomados en conjunto. Sólo en los Estados Unidos, las importaciones de maderas duras tropicales crecieron nueve veces, hasta alcanzar la cifra de 7.2 millones de m<sup>3</sup>, incluido un 70% de toda la madera contrachapada y en chapa en el comercio mundial (Myers, 1978; PNUMA, 1980a). No cabe duda de que las importaciones de maderas duras tropicales han facilitado la campaña de los grupos conservacionistas -- norteamericanos en su lucha por preservar los bosques de maderas latifoliadas templados en los mismos Estados Unidos. Ello ha resultado en una sustanciosa captación de divisas -- por parte de los países de bosques tropicales; en 1976 obtuvieron

por exportación de maderas 4,200 millones de dólares, lo que representa un gran aumento con respecto a los 272 millones que percibían a mediados de los cincuenta.

Hoy en día, las exportaciones de madera tropical ascienden al 4%, aproximadamente, del valor de todas las exportaciones de los países en desarrollo, sin contar el petróleo, la madera tropical es uno de los 5 rubros más importantes de exportación entre los productos del mundo en desarrollo, de hecho, en la actualidad, es una de las exportaciones que crecen más rápidamente y producen ingresos semejantes a los del azúcar, el algodón o el cobre.

El significado biológico de estas cifras corresponde al impacto biológico creciente y totalizador que se ejerce sobre los ecosistemas tropicales al incrementarse la tala comercial. El mayor problema es que ni siquiera esta explotación irracional de tan importante recurso alivia la miseria de los mismos habitantes de los bosques tropicales que se han calculado, comprendiendo su periferia, en unos 700 millones de habitantes, que incluyen por cierto una parte de "los pobres más pobres" del mundo, las selvas tropicales se sujetan así a una explotación "de una vez por todas" para alcanzar los fines de unas pocas personas, en forma tal que priva de beneficios duraderos a todas las demás.

Leña. - Casi el 50% de la población mundial, unos 2,500 millones de personas, utiliza una sola fuente de energía: la leña. En el mundo en desarrollo la madera es la principal fuente de energía, en algunos de los países más pobres la madera representa más del 90% de la energía total consumida. De hecho, en 1974, según estadísticas de la FAO (PNUMA, 1976) más del 45% de la producción mundial total de madera en troncos se utilizó como leña o carbón vegetal, 10 años después la cifra se ha elevado a 59% del total de la producción anual de los bosques del mundo, unos 3 mil millones de metros cúbicos (Wardle, 1985).

Estudios desarrollados por la FAO (Lanly, 1983) sobre la situación de la leña demuestran que tres cuartas partes de la población de los países en desarrollo - 2 mil millones de personas - dependen de la leña y de otros combustibles tradicionales para satisfacer sus necesidades diarias de energía. Otros 100 millones de personas viven en condiciones tales de escasez que no pueden obtener cantidades suficientes para satisfacer sus necesidades diarias de energía; otros mil millones de habitantes rurales sufren escasez creciente y sólo pueden satisfacer sus necesidades mínimas - a expensas de los recursos disponibles cada vez menores. El mundo en desarrollo en su conjunto tiene un déficit de 400 millones de metros cúbicos de leña para poder atender a las necesidades mínimas de las personas que dependen de este combustible. Si las tendencias actuales se mantienen y no son corregidas, para el año 2000 unos 2 mil millones de personas padecerán falta de leña (Souma, 1985).

El consumo de leña como energético no es homogéneo en todo el mundo, proporciona en Africa el 8% del total, en Asia el 17% y en América el 58%; la producción anual de leña en el período 1976-1979 fue de 1,100 millones de metros cúbicos y es probable que hoy en día, 10 años después, haya aumentado. En todo caso el volumen total de leña producida todos los años equivale a 8 veces la producción de troncos para aserrar y hacer chapas (139 millones de metros cúbicos por año, de 1976 a 1979). El consumo de leña per capita ha llegado a ser de 0.6 metros cúbicos aproximadamente (PNUMA, 1983). Es cierto que el volumen de madera consumida en el mundo como combustible es elevado, pero proporciona a la mayor parte de la humanidad la energía que satisface sus necesidades básicas de cocina y de calefacción; en el mundo en su totalidad, el 50% de la leña consumida se usa para cocinar, el 30% para calefacción doméstica y el 20% restante para otros usos domésticos, para elaborar productos agrícolas y en la industria (PNUMA, 1977).

Por el contrario, y aunque el consumo comercial es menor, las necesidades cubiertas por los árboles derribados en el mundo desarrollado distan mucho de los servicios que la madera presta a los pobres; Shigeto Tsuru señala que la edición dominical del New York Times consume los recursos de 25 hectáreas de bosques en un solo día, los árboles son convertidos en papel y éste en su gran parte es usado para imprimir anuncios comerciales que bien podrían transmitirse por otros medios como la radio y la televisión (Clarke y Palmer, - 1983).

Hasta fechas recientes no se ha comprendido el significado vital que el consumo de leña tiene para los habitantes rurales de los países pobres, pero a partir de la crisis petrolera de 1973 y el consiguiente recrudecimiento de la escasez de combustibles para los pobres, el problema ha cobrado la relevancia justa. Hay que considerar que el acopio y transporte de madera en las zonas rurales se hace principalmente mediante el trabajo humano, en forma tal que la leña se recoge hoy en día a grandes distancias del hogar, en el subcontinente indio y al sur del Sahara pueden ser hasta 50 kilómetros ( -- PNUMA, 1976). En general, la leña procede en su inmensa mayoría de fuentes locales y esto supone una demanda creciente de los árboles, arbustos y matas próximos a los centros urbanos.

Mucho antes de que la demanda de leña produzca la destrucción completa de la cubierta forestal, puede tener un efecto ambiental marcadamente degradante. La poda excesiva de las ramas puede reducir la capacidad de crecimiento de los árboles, la eliminación de árboles jóvenes, más fáciles de abatir, puede disminuir la capacidad regenerativa del bosque; la excesiva abertura de la cubierta de follaje por la eliminación de demasiados árboles puede hacer al bosque vulnerable al viento y al sol; la recolección de todos los residuos, hasta el punto

de barrer en algunas zonas las hojas, suprime los nutrientes que debieran volver al suelo para mantener su fertilidad; - la eliminación de rocas, tocones, arbustos y matas puede destruir una gran parte de lo que queda de la capa protectora y estructura aglutinante del suelo, y en su día, es posible que el bosque entero sea talado y desaparezca.

En las regiones semiáridas las consecuencias ecológicas - del consumo de leña contribuyen al proceso de desertificación. La leña es escasa y costosa en toda el Africa subsahariana, - desde el Senegal a Etiopía ; un trabajador manual de Niamey en el Níger, tiene que destinar hoy una cuarta parte de sus ingresos a la adquisición de leña-combustible.

Las caravanas que llevan a las ciudades ese precioso recurso están contribuyendo a crear condiciones desérticas en una ancha franja a lo largo del borde del desierto. Casi todos los árboles, situados en un radio de 70 kilómetros de la ciudad de Ouagadougou en el alto Volta, han sido consumidos como combustible por sus habitantes, y el círculo de tierra que se deja desnuda para conseguir leña aumenta constantemente (Ki-Zerbo, 1981).

Otras repercusiones ambientales perjudiciales de la escasez de leña en muchos países son:

- la quema de estiércol como combustible, lo que no sólo priva al suelo de nutrientes esenciales que debieran volver a él, sino que causa una grave contaminación del aire que puede ser muy dañina para la salud.
- la quema de leña y carbón vegetal añade cantidades considerables de humo y anhídrido carbónico a la atmósfera (PNUMA, 1976), cuyas repercusiones sobre el clima mundial estudiaremos más adelante.

No sólo se quema leña en los países en desarrollo, de acuerdo con un estudio realizado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se confirma que hoy en día, las calderas, chimeneas y hornos de los hogares americanos queman más leña que en ningún otro momento desde

la Segunda Guerra Mundial. En 1981 se quemaron 152.5 millones de metros cúbicos, cantidad superior en 4 a 5 veces a la que se quemaba hace diez años, y aproximadamente la cuarta parte de la madera destinada a todos los demás usos en los Estados Unidos (Skog, 1985).

En resumen podemos señalar cuatro causas principales del agotamiento de los bosques tropicales:

- rápido crecimiento demográfico de las zonas tropicales con la consiguiente demanda de tierras para la masa creciente de campesinos y la necesidad de una mayor producción de alimentos.
- explotación de los recursos con miras al crecimiento económico vía la ganadería migratoria y los cultivos tropicales.
- búsqueda acelerada de nuevos suministros de maderas duras para satisfacer la demanda creciente -y protección de sus propios bosques- de los países desarrollados.
- tala intensiva de bosques tropicales y subtropicales para obtener leña destinada a la calefacción y la cocina

Las consecuencias de esta destrucción son muchas y diversas aunque podemos agruparlas en tres apartados:

- consecuencias biológicas (ecológico-evolutivas)
- consecuencias climatológicas
- consecuencias sociales y económicas

En cuanto a éstas últimas, los costos sociales se traducen en: inundaciones (pérdida de cultivos y otros), erosión de los suelos (pérdida de la base productiva de alimentos y otros), corrimientos de tierras, anegamiento, sedimentación de embalses y pérdida de capacidad hidroeléctrica; todas ellas con las resultantes consecuencias en el grupo social de la zona respectiva (PNUMA, 1985).

Respecto a la pérdida de árboles en sí, los países tropicales pierden una fuente cada vez más importante (y potencialmente renovable) de divisas que puede ayudarlos a financiar el -



desarrollo, y a su vez las naciones desarrolladas, que promueven la tala excesiva se verán obligadas, tarde o temprano, a incidir sobre sus propios bosques y otros sustitutos - cuando se acaben las maderas duras tropicales (Myers, 1978).

Es decir que en el aspecto económico ambos grupos de naciones pierden, ya que devoran la base misma del capital boscoso y no sus excedentes.

Desde el punto de vista biológico hay dos consecuencias inmediatas:

- extinción de especies y como resultado
- reducción de la diversidad genética

La extinción de las especies es un componente natural del proceso evolutivo pero algunas actividades humanas la aceleran, y al hacerlo, empobrecen el depósito genético vegetal y animal.

Umbral del impacto biológico. - ¿Hasta qué punto se puede perturbar un ecosistema para que vuelva a regenerarse por medios naturales? seguramente hasta el punto en que no se afecte la adecuación "total" de las poblaciones de las especies o de las especies mismas, de tal manera que aunque pase mayor tiempo que el normal de homeostasis o equilibrio poblacional, los organismos finalmente puedan reproducirse aunque sea en condiciones de stress ecológico pero que les permita conservar y poner en marcha el depósito genético de la especie. Es decir, que el impacto biológico no implique una perturbación tal que impida a los organismos su adecuación por debajo de cierto nivel. Una vez transgredido el umbral a partir del cual las condiciones ambientales han variado de tal manera (catastróficamente) que impiden que los organismos se reproduzcan, entonces el proceso se vuelve irreversible, conduce a la extinción de las especies - y a la transformación del ecosistema original en otro de menor riqueza biológica, o diferente, o bien en un área geográfica sin vida.

El umbral de impacto biológico debe alcanzarse en el momento en que una unidad orgánica deje de alcanzar el valor de adecuación a que llegaría, de no presentarse la perturbación. Esto puede expresarse de diferentes formas de acuerdo con distintos organismos, pero lo que significa no se altera - al pasar de una ballena ártica a una bromeliácea de la selva en el corazón del continente africano. Es decir que el impacto biológico denota a toda aquella acción que de una u otra manera impida u obstaculice de alguna forma la plena realización del potencial de adecuación de un individuo.

Si una selva es talada, el que un organismo escape en ese momento a la muerte no tiene valor evolutivo, porque una vez destruido su habitat y su nicho, el organismo está condenado a muerte, y si aún no se había reproducido, jamás lo hará; así pues el impacto biológico expresado en términos de adecuación tiene valor y sentido sólo cuando se manifiesta sobre organismos prerreproductivos y reproductivos.

Así se explica que el impacto biológico tenga dos variantes: - el valor actual, cuando incide sobre organismos reproductivos en el momento de la reproducción, y el valor a futuro, cuando incide (hoy) negativamente sobre el proceso reproductivo de un organismo prerreproductivo, ya sea actuando directamente sobre él o bien sobre el medio ambiente en que éste se desenvuelve. En ambos casos el impacto biológico tiene un alto significado evolutivo ya que impide el intercambio genético o bien la manifestación genética del potencial de un individuo que se reproduce asexualmente.

El impacto biológico puede también favorecer la expresión de caracteres en individuos que otrora, no se manifestarían en la población, actuando como un elemento "nuevo" y un elemento "más" en el juego evolutivo.

El umbral de impacto biológico se alcanzaría en la selva tropical por estratos (físicos) o por nichos (ecológicos).- Al perturbar un área cualquiera de la selva se puede considerar, y con razón, que el bosque en su conjunto no se ha destruído, no obstante, el impacto biológico para los organismos que se alimentaban de las plantas retiradas o de sus asociadas es total, al desaparecer su fuente (en muchos casos) única de alimento la especie desaparecerá bruscamente de esa zona, y si el proceso de daño selectivo se repite, lo que sucede con frecuencia, a lo largo de grandes áreas de una selva o de toda la selva, las especies desaparecerán por completo como es el caso de Colonia Yucatán, en México (Guevara y Gómez-Pompa, 1976).

Hemos dicho ya que el entresaque, o retiro, de árboles seleccionados de una selva provoca perturbación y daño en un 41% de las especies restantes de árboles que no fueron cosechadas. Las especies euritópicas que toleran amplios extremos en las condiciones ambientales tienen por lo tanto una amplia distribución, y es probable que tengan un umbral de impacto biológico mayor que las especies estenotópicas, intolerantes a los cambios ambientales y por ello restringidas a una estrecha distribución geográfica. Así, desde una perspectiva co-evolutiva, las especies de la selva tropical que tienen relaciones tróficas de tipo  $\iota$  (generalmente estenófagas) serán más susceptibles que las especies de relación tipo  $\lambda$  (eurífagas).-

Lo mismo sucede con los arrecifes coralinos en donde se establecen gran número de relaciones tróficas uno a uno debido a la gran diversidad y especialización, lo que hace altamente lábiles a los cambios o perturbaciones a estos dos ecosistemas, los más complejos y frágiles de la Tierra. Los autótrofos resienten por igual los cambios introducidos por la perturbación de la selva que los heterótrofos.

### Extinción de especies

Normalmente la caza para alimento no tiende a extinguir las especies, ya que los pobladores de las selvas tropicales y otros biomas actúan(o debieran hacerlo) como depredadores prudentes (Slobodkin, 1980). No obstante, la caza deportiva o la caza furtiva para obtener un beneficio económico inmediato sí pueden y de hecho están ocasionando la extinción de diversas especies: rinocerontes en Asia, gorilas en Africa; (Burton, 1981).

Es probable que incluso la colecta vegetal y captura de animales con fines científicos esté ocasionando problemas de este tipo, sobre todo en lo que se refiere a organismos escasos, especies raras de gran valor para la investigación o bien para incrementar las colecciones de museos de Historia Natural o aun colecciones privadas de Universidades e investigadores particulares.

Otros aspectos de la caza comercial comprenden la obtención de especímenes para el comercio internacional la que debe atender una gran demanda de:

- cueros y pieles para las industrias de lujo
- carnes y pescados exóticos para gastrónomos
- productos vegetales y animales usados en perfumería, fármacos, cosméticos, afrodisíacos, materiales de decoración, recuerdos e inversiones.
- plantas en tierra para la horticultura
- animales en pie para el comercio de mascotas, zoológicos, casas de fieras, acuarios y demás colecciones

Este tipo de abuso amenaza a un 40% de todas las especies de vertebrados en vías de extinción y es la mayor amenaza que pesa sobre los reptiles, por ejemplo, el comercio mundial de cueros de cocodrilo ha disminuído de 10 a 2 millones de unidades por año (UICN, 1980).

Otros tipos de extinción resultan de:

- la erradicación sistemática de animales considerados como competidores tráficos del hombre (aves marinas y

lobos); animales peligrosos (pájaros de presa y cocodrilos); vectores de ciertas enfermedades como los murciélagos en América y los zorros en Europa para el control de la rabia, o de hospederos asintomáticos -- como los ungulados africanos para la mosca tsé tsé, (UNEP, 1976).

- la introducción de especies exóticas (por ejemplo el caso de las Islas Galápagos citado anteriormente)
- introducción/creación de nuevos habitats
- la sobrepoblación de ciertas áreas en donde el crecimiento mismo hace a un lado a otras especies para poder usar sus habitats.

Con mucho la principal razón de la pérdida de especies es la destrucción de su habitat, esto puede ocurrir en las diferentes formas señaladas que podemos resumir:

- destrucción de los bosques por la compañías madereras
- conversión (destrucción total) de selva a pastizal para desarrollar la ganadería itinerante.
- agricultura de roza, tumba y quema
- agricultura de cultivos tropicales que aclarea los bosques tropicales para disponer del área
- obtención de leña por los aldeanos

pero también (Holdgate et al., 1982) con:

- prácticas de pastoreo
- construcción de presas y carreteras
- contaminación del aire y del agua
- actividades militares (PNUMA, 1980b)

Productos casi todos ellos de un desarrollo económico incipiente, mal enfocado por los países tropicales, que no han llegado a estructurar modelos de ecodesarrollo que les permitan hacer compatible un crecimiento económico sostenido junto con la preservación de la rica diversidad genética de sus

bosques tropicales (Bolaños, 1976). Todo ello conduce habitualmente a lo que se denomina extinción in situ.

¿ Qué sucede si talamos un árbol en una selva tropical?, probablemente se reducirá el número de sitios de anidación, ramoneo, vigilia, habitat y nicho ecológico para diferentes organismos, pero en esencia, la población a la que pertenece ese árbol no sufre un daño relevante. Ahora bien, -- ¿ qué sucede si talamos sistemáticamente a todos los miembros de esa población, de una especie particular, aunque se encuentren dispersos en la gran diversidad biótica del tró pico húmedo ? . Esto que pudiera parecer un planteamiento absurdo es precisamente lo que el hombre ha hecho con diversas maderas, llamadas preciosas, de las selvas tropicales del planeta, por citar un caso mencionaremos la caoba (Swietenia spp). Si esto es así, la población local puede enfrentar -- la extinción por dos vías:

- dado que la viabilidad de las semillas de árboles tropicales es muy corta (Vázquez-Yanes, 1976; Puchet, -- 1986, y otros), y que por lo tanto no existen verdaderos bancos de semillas en el suelo, la población puede desaparecer.
- aun existiendo semillas germinadas en el piso de la selva, si la perturbación de la misma es de tal magnitud que las condiciones de crecimiento para estas plántulas de caoba son radicalmente diferentes a las que enfrentaron sus ancestros, la extraordinaria plasticidad genética de las plantas puede ayudar a algunos de estos individuos a prosperar, siempre y cuando, la -- perturbación no sea de tal magnitud que el impacto biológico alcance un valor elevado, ya que en tal caso ( - por ejemplo destrucción del dosel o de la cubierta vegetal del sotobosque) las plántulas encontrarán condiciones ambientales más allá de su capacidad genética de adaptación y tendremos la extinción poblacional in situ.

Pero existe también, como producto del torpe manejo de la biota planetaria, lo que he denominado extinción ex situ. Cuando un organismo es capturado en su medio ambiente y es llevado lejos de allí para ser mantenido en cautiverio como unidad aislada, digamos por ejemplo como "mascota", --- pierde toda oportunidad de cruzar con miembros de su deme y por lo tanto su valor de adecuación puede verse reducido a cero (si no llega a haber cruce).

A este proceso lo podemos llamar extinción ex situ, ya que ésta es el resultado final de la intervención humana y no se da en el área de distribución del organismo de referencia. En el sitio de captura, y dependiendo de la intensidad de esta última, la población suele verse seriamente afectada ya que los organismos capturados tienden a ser -- elementos prerreproductivos o reproductivos de la pobla--- ción, lo que afecta en gran forma la estructura de la misma y reduce la adecuación total del deme, ya que se reduce el tamaño y la disponibilidad del depósito genético.

Así puede haber dispersados en el mundo, en zoológicos, casas particulares o laboratorios de investigación, miles de individuos pertenecientes a una población original, la que actualmente puede ya no existir o bien ser extremadamente reducida o estar formada sólo por viejos (organismos posreproductivos), mientras que miles de individuos jóvenes, vigorosos, prerreproductivos, habitan en ambientes -- totalmente diferentes a su hábitat original y enfrentan, -- aunque no necesariamente de momento ni a la vez, la extinción (o la no reproducción con organismos de su misma población), y en ocasiones aunque se dé la reproducción "forzada" (o inducida) con organismos de otras poblaciones, la población original termina por desaparecer.

No se considera que la población original esté extinguida en el momento mismo posterior a la captura debido a que, puede llegar a darse el caso (teórica, hipotéticamente)

de que tiempo después los integrantes de la población ( o un cierto número de ellos) sean reintroducidos en su habitat original, de no suceder ello, al ir muriendo los individuos o bien al envejecer y traspasar su período reproductivo, la población se irá extinguiendo ex situ. Si algunos organismos fueran reintroducidos al habitat original pero hubiesen pasado ya la edad de reproducción para esa especie aunque el sitio fuese repoblado con estos organismos - el daño estaría hecho y probablemente la población se extinguiría en presencia de un buen número de organismos de la misma.

En el caso de organismos que se reproducen por gemación u otro tipo de reproducción asexual, si bien no forman generalmente verdaderas poblaciones mendelianas en el sentido señalado por Pianka y otros, sí llegan a recurrir a la reproducción sexual por lo menos periódicamente (en ocasiones) y por lo tanto mezclan su material genético.

El principal problema de la destrucción total del habitat de una especie radica en que ya no se pueden presentar las dos situaciones sugeridas por Harper(1977) para enfrentar el deterioro local:

- esperar hasta que el habitat original se restablezca
- escaparse a otro lugar, a un habitat parecido al original.

En aquellas zonas donde la perturbación es tal que no - hay posibilidades inmediatas y a veces ni siquiera mediatas de recuperación vía la sucesión y tampoco existe la posibilidad de huir a otro sitio "parecido" porque la tala ha sido completa, de toda la biomasa vegetal, como es el caso de Colonia Yucatán en México, las especies enfrentan súbitamente la extinción.

En 1973 se informó de la extinción en los últimos 400 - años de 220 mamíferos, pájaros y reptiles, yo me pregunto:



¿ cuántos organismos marinos se habrán extinguido en el Pacífico merced a las pruebas nucleares norteamericanas y francesas?, ¿ cuántos organismos de las tundras árticas de Siberia en la URSS, cuántos en los desiertos australiano y argentino por las explosiones soviéticas, inglesas y francesas -- respectivamente? eso nunca lo sabremos, pero es innegable que el número debe ser muy elevado.

En las próximas décadas podremos atestiguar la eliminación de por lo menos un millón y tal vez muchas más de las especies de la Tierra debido al impacto biológico. Esta extinción constituirá dice Eckholm (Myers, 1979) un gran empobrecimiento de la diversidad de la vida en el planeta, mucho mayor que las extinciones masivas de la prehistoria.

Hemos señalado ya la rica diversidad biológica de las selvas ecuatoriales que probablemente sustentan la mitad de las especies de la Tierra, esa mitad que es la menos conocida -- por el hombre; se calcula que actualmente están amenazadas de extinción 25 mil especies de plantas\* y más de mil especies y subespecies de vertebrados. Y estas cifras no consideran la inevitable pérdida de las especies de animales más pequeños -- en particular invertebrados como moluscos, insectos y corales -- cuyo medio está siendo destruido; ni mucho menos consideran : fungi, monera y protista. De tal manera que si tomamos en cuenta sólo a los pequeños animales, de aquí a finales de siglo se habrán extinguido entre 0.5 y 1.0 millones de especies (UICN, 1980) es decir, que haciendo los cálculos correspondientes se extingue una especie cada 15 minutos, incluso -- ello puede parecer una cifra muy conservadora si recordamos que en esos 15 minutos se talan 600 hectáreas de selva tropical y de acuerdo con White (1983) debido a la extraordinaria diversidad de especies no hay dos selvas iguales, ni siquiera partes de una misma selva lo son, por ello la destrucción de un área pequeña puede producir la extinción de incontables especies.

\* y 60 mil lo estarán durante el próximo siglo (PNUMA, 1987).

El problema se acrecienta debido a la interdependencia de muchas especies. La desaparición de una sola planta puede afectar de 20 a 30 especies dependientes (Clarke y Palmer, 1983).

Lo más lamentable desde el punto de vista biológico es la probabilidad de que miles o, cientos de miles de especies hayan desaparecido en años anteriores merced a la apertura de la selva amazónica (Mylaea Amazónica) con gigantescos proyectos como el de la Ford Motor de los años veinte o el proyecto Jari de los sesenta; en 1978 un científico brasileño declaró que se había perdido ya el 20% de la amazonia brasileña (que abarca la mitad de todas las junglas del mundo), - aunque El Programa Brasileño de Observación de la Cubierta Forestal Mediante Imágenes de Satélite, dijo que para 1980 sólo se había perdido el 1.2% de "bosques de uso" (White, - 1983).

John Spears consejero forestal del Banco Mundial asegura que desde 1900 el área de selvas tropicales húmedas se había reducido en más de la mitad. De 1,000 millones de hectáreas que quedaban en 1980 el 12% se habrá perdido dentro de 14 años, y si no se hace nada por detener el crecimiento poblacional de los países tropicales y por reducir la excesiva demanda de madera, animales y plantas de ornato de los países desarrollados, podrían quedar hacia mediados del siglo XXI, 500 millones de hectáreas y hacia el año 2100, nada. El hombre habrá destruido en 200 años un ecosistema de 65 millones de años de edad, habremos extinguido de la superficie de la Tierra a más de la mitad de las especies y con ello se -- habrán perdido ingentes recursos para la agricultura, la farmacopea, la industria y la riqueza espiritual representada por la lujuriante vegetación, los colores múltiples de miriadas de insectos y aves, y el canto vivificador de los pájaros tropicales que las selvas aún ofrecen al hombre hoy día.

Independientemente de los beneficios económicos y de otro tipo que los seres vivos de los bosques tropicales nos puedan brindar, tenemos la obligación moral de preservar e incrementar, de ser ello posible, la vida y su diversidad en el planeta que habitamos y sobre el cual nos ufamamos como especie dominante de ser el mamífero más inteligente del universo conocido.

Hoy en día esa inteligencia la demostramos poniendo en peligro de extinción a las especies del planeta debido a la codicia de unos cuantos, pero nos olvidamos que cada especie que se pierde es en las palabras de Mohammed Kassas " una opción perdida para nuestros hijos " por ello Peter Scoot dice que " en última instancia el hombre es la especie en peligro " (Clarke y Palmer, 1983).

Hoy en día se encuentran en peligro de extinción el oso grizzly, el oso polar, el panda gigante, el lobo, varios miembros de la familia de los felinos: el cheeta, el jaguar, el ocelote; el rinoceronte, los grandes simios, muchas especies de grandes aves de presa como halcón peregrino y cóndor de los Andes; la cigüeña, la grulla; la familia de los cocodrilos, la gran tortuga de mar y las grandes ballenas ; así como una multitud de animales exóticos y menos conocidos: el tilacino (lobo marsupial de Australia), el gaur (especie de búfalo), el águila come monos de Filipinas, y el dragón de la Isla de Komodo, entre otros.

Hemos señalado ya que la causa principal de extinción es la destrucción del hábitat natural, pero hay otras formas de extinción menos drásticas pero igualmente desafortunadas para la vida salvaje del planeta. La colecta de mascotas vivas - el consumo menos importante realizado por el hombre - es no obstante una sangría enorme para las poblaciones naturales. En 1970 de acuerdo con el Departamento del Interior de los Estados Unidos se importaron vivos: 83,867,029 peces, 572,670 anfibios, 2,109,571 reptiles, 687,901 pájaros y 101,302 mamíferos.

Lo que destaca de estas cifras es que la gran mayoría de estos animales son tropicales, sustraídos ya sea de los arrecifes coralinos, ya de las selvas tropicales.

Los peces se destinaron para tiendas de mascotas, la mayor parte de los anfibios eran ranas destinadas para estudios de laboratorio y prueba de embarazo humano; los reptiles, que varían de cocodrilos a serpientes pitón fueron vendidos primariamente como mascotas, sorprendentemente la mayoría de la -- gigantesca cantidad de aves no incluía canarios ni loros pero este grupo fue también vendido como mascotas. De los 101,302 mamíferos salvajes importados en 1970, casi 85,000 eran chanchos capturados para investigación biomédica, y aunque pueda parecer elevada, esta cifra es modesta comparada con las importaciones durante la cima de la producción de la vacuna poliomelítica, entre 1958 y 1960, que alcanzó 634,000 ejemplares, insistiendo, sólo en los Estados Unidos; desgraciadamente la mayoría de las naciones no llevan registros al respecto y el mercado negro es también muy importante, además. se calcula que por cada animal importado vivo, muchos pueden haber muerto durante la colecta y el embarque (Conway, 1973).

La caza deportiva constituye una pérdida importante para muchas especies de animales y es mayor que la colecta viva, -- muchos países tropicales ofrecen viajes turísticos en los que se invita a los turistas a la caza o la pesca y debido a que la mayoría de estas naciones requieren de divisas fuertes, -- y a que no poseen legislaciones conservacionistas en práctica, sus poblaciones de animales salvajes se ven crecientemente amenazadas de extinción. No obstante en países desarrollados -- como los Estados Unidos, los cazadores se han organizado y con tratan biólogos que estudian las poblaciones de animales para determinar cuántos pueden cosecharse durante la temporada de caza y las cifras son impresionantes; la caza anual calculada para 1972 consistía de: 12 millones de aves acuáticas, 2 millones de venados, más de 20 mil osos grizzly, y se estima que --

sólo en la temporada 1965/1966, los cazadores norteamericanos mataron 42 millones de palomas (Conway, 1973).

El comercio de cueros, pieles, carne y aceite animal - implica un número tal de animales vivos sacrificados que - empequeñece todas las otras pérdidas de las especies que - afecta, las víctimas principales. son los grandes felinos, la nutria, las focas y los cocodrilos, lagartos y otros -- saurios. Tan solo entre 1968 y 1969 se importaron a los - Estados Unidos: 3,168 pieles de cheeta, 17,490 de leopardo, 23,347 de jaguar, 262,030 de ocelote y 99,002 de otras pieles, un total de 405,037 animales, 202,518 felinos capturados por año; además estas cifras no incluyen los animales muertos por los peleteros en otros países. Sólo en Estados Unidos se importaron del Brasil 275 mil pieles de capibara - que es el roedor más grande del mundo - y una opción alimenticia - de la Amazonia y 436 mil pieles de venado de la misma región (Conway, 1973).

Los europeos no se quedan atrás, de acuerdo con Sand (1979) solamente a la República Federal Alemana le corresponde el - 60% de las importaciones de pieles del mundo y una proporción elevada de pieles de felinos moteados, si a ello añadimos la participación de otros países de Europa Occidental que comercian pieles, la región representa por lo menos el 80% del -- mercado de todas las especies de felinos en peligro de extinción. Esta cantidad equivale a medio millón de pieles al año, desde ocelotes amazónicos a lince siberianos. En RFA se importaron en 1978, 360 mil pieles brutas de felinos salvajes y se piensa que muchas de ellas provenían de Brasil.

Las importaciones de marfil registradas en las estadísticas oficiales de las aduanas de países de Europa Occidental - que se dedican a este comercio ( RFA, Francia, España, Inglaterra, Italia, Países Bajos y Bélgica) para 1977, dan un total de 180 toneladas métricas (Sand, 1979). Aunque esta cifra

comprende una gran proporción de las reexportaciones a Asia, no incluye el enorme volumen de marfil " en tránsito" a través de Bélgica y Francia que no figura en las estadísticas aduaneras. Europa consume anualmente unas 50 toneladas métricas de marfil para fabricar tallas, joyas, teclas de piano, bolas de billar y decoración interior. Sólo en 1977, las importaciones comerciales europeas de marfil en bruto representaron por lo menos 10 mil elefantes muertos. Si consideramos que en Loxodonta africana el clan o rebaño comprende un máximo de 70 individuos (Cagnolaro, 1980) se sacrificaron por lo menos 140 grandes rebaños de elefantes para satisfacer la demanda en 1977. Debo añadir que sólo en el Africa Oriental se mataron hasta 1957 un promedio de 17 mil paquidermos por año.

Hoy en día la caza furtiva que este mercado origina está ocasionando la rápida disminución de los elefantes de grandes colmillos, esto significa que los cazadores furtivos tendrán que matar un número aún mayor de elefantes para obtener la misma cantidad de marfil.

En cuanto a otras especies en peligro de extinción podemos señalar el caso de las ballenas, todavía en 1980 seis naciones se dedicaban activamente a su captura: URSS, Dinamarca, Islandia, Noruega, Portugal y España. En 1978 la RFA, el Reino Unido, los Países Bajos, Francia e Italia importaron más de 1,500 toneladas métricas de aceite de ballena equivalente a 2,000 animales sacrificados (Sand, 1979).

Contrariamente a lo que se pretende, sólo una pequeña fracción de los cocodrilos usados por la industria proviene de criaderos, la gran mayoría proceden de la naturaleza y se considera que se pierde o no se puede utilizar hasta un 50% de las capturas. Nuevamente es Europa, ahora junto con Japón, quien compone el mercado principal de los 2 millones de pieles que cada año

se comercian abiertamente en el mundo, el 60% , 1.2 millones, lo consumen los curtidores europeos: Francia 500 mil, Italia 400 mil, RFA 250 mil, los europeos tienen también una gran participación en lo que respecta a pieles de serpiente, tortugas marinas y otros productos de reptiles.

El tráfico ilegal es tan grande y bien organizado debido a que, como el dice el Dr. Arnd Wümschmann, Director del Parque Zoológico de Hellabrunn en Múnich: " los márgenes de ganancia del comercio ilegal de pieles, trofeos y animales protegidos son superiores a los del tráfico de drogas" (Sand, 1979).

En febrero de 1979 funcionarios del Servicio de Pesca y Fauna de los Estados Unidos incautaron más de 17,500 pieles introducidas ilegalmente en un rancho de Texas, entre ellas había 1,556 pieles de gato montés mexicano, con destino al mercado europeo en donde un abrigo de 12 pieles cuesta 20,000 dólares, es decir, que sólo estas pieles que representaban el 9% del cargamento tenían un valor de 2,600,000 dólares.

La pregunta inmediata que nos hacemos es: ¿ tenemos algún derecho especial sobre los animales y plantas del planeta para exterminarlos ? Si observamos las cifras anteriores encontraremos que el gran porcentaje de organismos proviene de las selvas tropicales o de áreas relacionadas con ellas, al parecer estos países han decidido la extinción específica de la vida como una forma de desarrollo económico. Saltana la vista las fallas de que adolece un esquema tal, sólo consideremos a guisa de ejemplo que las selvas y sus organismos animales son finitos e irrecuperables a las tasas de destrucción actual, el valor de impacto biológico es máximo y en estas condiciones, no hay posibilidades de recuperación. Visto así, la jungla y sus animales constituyen un recurso agotable a corto plazo y como tal no puede suministrar los

fondos para un crecimiento sostenido presuponiendo que éste fuera el caso, pero la realidad nos indica que ello no es así. La extinción es provocada generalmente por individuos sin escrúpulos que no comprenden la vida del planeta ni lo que significa la pérdida de tan solo una especie terrestre, el afán de lucro como conducto para obtener satisfactores inmediatos se sobrepone a cualquier otra consideración moral o biológica y por supuesto, al igual que los demás problemas ambientales, se deriva en primera instancia de una carencia total de conciencia ecológica evolutiva .

Es una creciente obligación para el biólogo, comprender - y hacer comprender, lo que significa el hecho de que este planeta se haya visto favorecido por encontrarse dentro del cinturón de agua líquida del sistema estelar a que pertenecemos (Crick, 1985), y que debido a ello, aquí se manifieste de manera tan abundante y diversa, la mayor evolución en la creciente complejidad de la materia universal que ha producido la vida tal y como la conocemos.

La pérdida de especies significa por supuesto una reducción de la diversidad genética, y en este sentido la perturbación tropical va acompañada de otra forma de impacto biológico ahora sí consciente, y supuestamente benéfica para el hombre, me refiero al desarrollo de las variedades genéticas mejoradas (Var), los ancestros de muchas de las cuales han sido tomados de los trópicos y de zonas adyacentes, y hoy en día están desapareciendo con la destrucción de su habitat original.

¿ En qué radica la importancia de estas especies que se extinguen? hemos dado ya el punto de vista del biólogo como estudioso de la vida en general y del valor que tiene cada especie para el acervo genético planetario, además de esto que constituye la preocupación fundamental y única válida en lo que se refiere a su preservación, existen otros factores;



el económico es acaso el más importante de ellos y tiene bases históricas por demás interesantes; un árbol trasladado de Indonesia a Amsterdam y luego a Surinam representa la base genética de toda la industria cafetalera - de América Latina (la más importante del mundo); cuatro palmas nigerianas forman toda la base genética de la industria de la palma oleaginosa asiática; 22 plantas de caucho tomadas de la amazonia brasileña constituyen la base de la mayor parte de la producción de caucho asiática, y el comercio de sisal en el Africa Oriental depende de alrededor de 60 plantas (Mooney, 1985). El caso de las patatas europeas originadas en unos cuantos ejemplares -- llevados de América a Europa es ya conocido, y también, la consecuencia mortal para los irlandeses del siglo pasado debido a la pobreza en la diversidad de la base genética del cultivo; más recientemente y debido a una selección intensa en aras del mayor rendimiento y de la mayor uniformidad, se ha reducido en buena parte la base genética de la producción contemporánea de alimentos: así el 75% del trigo cultivado en el Canadá corresponde a sólo 4 variedades y más de la mitad de los trigales se dedica a una sola variedad; el 72% de la producción de papas en los Estados Unidos depende de sólo 4 variedades y la de guisantes de dos; toda la producción de semillas de soya norteamericana tiene su origen en 6 plantas procedentes del mismo lugar en Asia; 3 variedades responden por el cien por ciento de la producción de mijo y 3 también por más de la mitad de la cosecha de algodón y 6 por el 70% de la producción de maíz (sustentada en 197 variedades) que es la más importante del mundo (Cox y Atkins, 1979; UICN, 1980)

Todos estos cultivos y otros en situaciones análogas son sumamente frágiles, es decir, que la uniformidad genética se traduce en vulnerabilidad a las plagas, las enfermedades ---

y las condiciones climáticas (Cox y Atkins, 1979; Mooney, - 1985). Esta vulnerabilidad es tal que en el noroeste de - los Estados Unidos la vida promedio de una nueva variedad de trigo es sólo de cerca de cinco años (Cox y Atkins, 1979) y ello significa que constantemente hay que estar introduciendo nuevas variedades, para ello requerimos disponer de las -- variedades primitivas o de sus parientes silvestres a partir de las cuales se obtuvieron las " mejoradas" , no hablo sólo del trigo sino de las plantas comestibles, medicinales e industriales que el hombre utiliza en general, y el banco genético de plantas más importante del mundo lo constituyen, como hemos dicho ya, las selvas tropicales.

La vulnerabilidad genética producto de la uniformidad es un fenómeno conocido desde hace por los menos medio siglo en la jungla amazónica, merced al experimento de plantaciones a gran escala de un único cultivo iniciado por la Ford Motor - Company en 1926 en la parte inferior del Río Tapajos afluyente del Amazonas. En ese tiempo, holandeses y británicos, - controlaban el precio del caucho que se usaba en la fabricación de los neumáticos de la creciente industria automovilística, y Ford decidió establecer casi en la misma zona de donde se habían tomado 50 años atrás semillas de Hevea brasiliensis, árbol del caucho, y se habían exportado, vía los Jardines de - Kew, al sur de Asia - una gran plantación de caucho para su industria, así pues obtuvo una concesión de 10 mil kilómetros cuadrados (un millón de hectáreas) de la Amazonia por parte del gobierno del Brasil y se procedió a la tala-destrucción de tan inmenso territorio, posteriormente se sembraron 800 mil árboles de Hevea, ello introdujo una situación radicalmente nueva en la Amazonia, la uniformidad en el corazón mismo de la diversidad extraordinaria de la jungla brasileña, - los resultados no se hicieron esperar, en 1932 los árboles --

Fueron atacados por el hongo Dothidella ulei en tal forma que finalmente murieron, el resultado final de la aventura fordiana no es de nuestro interés, sí lo es la interacción Hevea- Dothidella, ¿ acaso el hongo fue introducido - por error o bien intencionalmente por los europeos para proteger sus gigantescas plantaciones asiáticas ? No, el hongo se presenta en los trópicos americanos y es insignificante su presencia entre los árboles de caucho de la jungla amazónica, ello se debe a que se encuentran separados - cientos de metros entre sí unos de otros, es decir aislados y protegidos del ataque de las esporas del hongo por la gran diversidad biológica de la selva. Lo que sucedió en Fordlandia (como fue llamada la plantación) es lo que hoy sucede en grandes extensiones agrícolas de la Tierra, se sembraron miles de hectáreas con una sola variedad y ello facilitó la propagación del hongo siguiendo un crecimiento poblacional irrestricto y destruyendo por lo tanto la homogénea plantación de caucho ( Sioli, 1973) . Otro "experimento" similar en este "juego de la extinción" fue desarrollado medio siglo después en la misma Amazonia por otro multimillonario norteamericano Keith Ludwig, con los mismos resultados pero en un área mucho mayor en Jari (Toledo, 1974).

La vulnerabilidad genética implica el riesgo, más tarde o más temprano, de pérdida de la cosecha, medio de subsistencia de millones de pequeños productores en el Tercer Mundo. Para defenderse contra las consecuencias desastrosas de la uniformidad, los agricultores se ven obligados a utilizar costosos productos químicos que ponen en riesgo sus ganancias, dañan el medio ambiente y en ocasiones (cada vez más frecuentes) - terminan por envenenar el cultivo que se está tratando de proteger. Economías nacionales enteras de países en desarrollo exportadores de monocultivos están expuestas al desastre -

debido a un nuevo tizón del café' en América Central, a la sigatoka negra del plátano o a la súbita y creciente aparición de un cancro mutante en las plantaciones de cítricos (Mooney, 1985).

La base genética limitada significa que los agricultores disponen de pocas combinaciones genéticas que ensayar para combatir condiciones siempre cambiantes. Dada la rápida naturaleza adaptativa de las plagas de insectos y enfermedades (debido a su corto ciclo de vida) sólo es cuestión de tiempo para que surjan variedades resistentes a los nuevos insecticidas, como en efecto ha sucedido, y para que se destruyan las "variedades mejoradas" de cultivos. La única solución objetiva y racional es volver a las combinaciones genéticas originales en busca de material silvestre o cultivado que podría cruzarse con las variedades actuales para obtener nuevas y resistentes plantas cultivadas.

Sin embargo, a partir del decenio de 1960 algunos países se han dado cuenta de que la base genética está desapareciendo debido al uso de estas variedades de plantas de alta respuesta, lo que ha conducido a una situación paradójica: los elementos genéticos que se encuentran en cultivares tradicionales y en sus parientes herbáceos se están destruyendo por la introducción masiva de sus descendientes mejorados, es como construir el techo de una casa usando las piedras de los cimientos dicen los expertos genetistas. Además, debido a que los genes generalmente vienen en forma de semillas, ya que éstas son a menudo el medio de producción y el producto final de consumo, la gente tiende a comer las semillas que no utiliza (es decir las de las variedades silvestres) y esto equivale a una forma de extinción.

En el caso de los cultivos anuales propagados por semillas (prácticamente todos los cereales- base de la alimentación humana- y las hortalizas) esta erosión genética ha -

eliminado casi toda la diversidad, escasa por cierto, de Europa y Norteamérica y aunque no disponemos de cifras precisas las pérdidas del patrimonio genético de los países en desarrollo son muy superiores al 50%.

Las pérdidas de cultivos tropicales perennes tales como caucho, thé, café, palmas datilera y oleaginosa, la mayor parte de las frutas, etc. también han sido graves. Los parientes silvestres de estas plantas perennes - que con frecuencia son portadoras de genes invaluable- están -- desapareciendo con la tala y la quema de los bosques tropicales, y sus primos cultivados se están reemplazando - rápidamente con unos pocos híbridos selectos.

Desde fines de los setenta las nuevas técnicas de propagación mediante clonaje han aumentado las posibilidades agronómicas del cultivo en cuestión y han acelerado notablemente el ritmo de erosión y uniformidad genética.

Probablemente la única solución al problema de depauperación genética, que se avecina en forma masiva en el mundo en general, sea la preservación de bancos de diversidad genética in situ a partir de la cual se puedan lograr nuevas variedades para continuar en esta espiral que el hombre ha creado de producir nuevas plantas, y con sus productos químicos nuevas razas de insectos, bacterias, hongos y virus patógenos resistentes a los mismos, esta gigantesca y peligrosa alteración evolutiva instrumentada por el hombre sólo puede encontrar respuesta apropiada preservando posibilidades, información, los bosques tropicales de la Tierra. Con ello no pretendo sugerir que automáticamente se resuelvan todos los problemas que resultan del impacto biológico en este renglón, pero sí señalar que preservando las selvas tendremos mayores posibilidades a futuro, y seguramente las plantas, animales y microorganismos que hoy desaparecen de manera tan violenta tendrán también --- oportunidades mayores de sobrevivir y de enseñarnos aún muchas cosas.

### Efecto Invernadero

La tala de la selvas provoca otro problema que con el tiempo puede resultar tan importante como la extinción, y que se deriva de la forma en que estos ecosistemas se relacionan con e influyen en el clima (Fogg, 1975).

La tala afecta las condiciones climáticas en los planos regional y posiblemente mundial al alterar los regímenes hidrológicos, reducir la cubierta vegetal y aumentar el albedo y el calor en la atmósfera, así como debido a la quema acelerada de la biomasa vegetal y/o a su descomposición que contribuye a la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, y con ello al aumento de la temperatura de la Tierra (PNUMA, 1984).

El cambio en los regímenes hidrológicos lo hemos ejemplificado ya al hablar de la humedad y lluvias en la amazonia brasileña; lo mismo puede aplicarse a otros sistemas de selva tropical.

La reducción de la cubierta vegetal, independientemente del significado biológico que hemos analizado anteriormente, produce otro peculiar efecto, un incremento en el albedo - que puede resultar de gran importancia en el equilibrio térmico del planeta. El albedo expresa el porcentaje de energía radiante reflejada por una superficie o una sustancia, por ejemplo, una superficie que refleje el 40% de la energía solar que recibe tiene un albedo de 40% (se usan también valores de 100% igual a 1.0 por lo que el albedo de esta superficie sería de 0.4) (Strahler y Strahler, 1979). El albedo es una propiedad importante de la superficie de la Tierra porque determina la velocidad de calentamiento de un área expuesta a la insolación. Formalmente el albedo es igual a la energía reflejada dividida entre la energía entrante.

Depende no sólo de las características de la superficie, sino también del ángulo de incidencia al cual la radiación interactúa con la superficie (Ehrlich et al., 1977). El albedo varía por supuesto para diferentes tipos de superficie (SMIC, 1971).

La reflectividad de la superficie del agua va aproximadamente de 3 a 8% y puede ser mayor (hasta 25% en regiones polares) dependiendo de la elevación promedio del Sol y de la difusividad relativa de la radiación solar incidente afectada por nubes o partículas atmosféricas. La reflectividad o albedo de los bosques de coníferas y de los campos cultivados va de 10 a 15%; para bosques caducifolios varía de cerca de 10% durante el invierno hasta 25% pero puede llegar a 40% en condiciones extremadamente secas; la reflectividad de la nieve y el hielo varía de 30 a 70% dependiendo principalmente de la edad y condiciones de la superficie, en áreas polares remotas la reflectividad de la nieve permanente puede alcanzar un valor hasta de 90% (SMIC, 1971).

El albedo de los bosques tropicales durante el período de lluvias fue estimado por Budyko en 1971 en 24% y el albedo global para el planeta se calcula en 30%, del cual las nubes contribuyen con el 25% y la superficie de la Tierra con el 5% restante (SMIC, 1971).

La biomasa vegetal que es convertida en humo en las regiones tropicales contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y por lo tanto al calentamiento del planeta, la idea de este incremento en la temperatura debido al aumento de  $CO_2$  en la atmósfera no es nueva, fue propuesta originalmente por el notable físico británico John Tyndall en 1861 (Plass, 1959) o 1863 (SMIC, 1971), esto fue estudiado con mayor detenimiento por el químico sueco Svante Arrhenius en 1896 y más recientemente por Plass en 1956, Kaplan en 1960, Möller en 1963, etc. (Plass, 1959).

De acuerdo con la teoría el  $\text{CO}_2$  controla la temperatura debido a que sus moléculas absorben la radiación infrarroja (IR), el  $\text{CO}_2$  y otros gases en la atmósfera [ozono, óxido - nitroso, vapor de agua (en la estratosfera), metano y los - clorofluorocarbonos] (Holdgate et al., 1982) son virtualmente transparentes a la radiación visible que porta la energía solar a la Tierra, pero ésta en turno reirradia gran parte - de la energía en la región IR invisible del espectro. Esta radiación es más intensa a longitudes de onda muy cercanas a la banda principal de absorción (13 a 17 micrones:  $15 \mu$ ) - del espectro del  $\text{CO}_2$ . Cuando la concentración de  $\text{CO}_2$  es su - ficientemente elevada su banda de absorción se vuelve efec - tiva y se absorbe una cantidad aún mayor de radiación IR, - el  $\text{CO}_2$  evita el escape de esta radiación de regreso al espa - cio y la reirradia hacia abajo, calentando entonces la at - mósfera cerca de la superficie de la Tierra (Plass, 1959).

Debido a su efecto semejante al de los vidrios de un in - vernadero que atrapan la radiación IR del sol y mantienen -- caliente el interior durante la noche, se ha llamado efecto invernadero al calentamiento propiciado por el  $\text{CO}_2$ . Originalmente se pensó que el problema se generaba únicamente en la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) por parte del hombre y en sus actividades agrícolas, pero en 1976 Woodwell y Houghton sugirieron que el incremento podría deberse también a otro factor, la destrucción de los bosques de la Tierra, lo que según el mismo Woodwell había sido señalado por Evelyn Hutchinson en un capítulo del libro "The Earth as a planet" editado por G. Kuiper en 1954 (Woodwell, 1978); hoy en día se acepta ya como un hecho que el incremento atmosférico de  $\text{CO}_2$  se deriva esencialmente de la oxidación o descomposición del carbono almacenado en los árboles y el humus del - suelo liberado cuando se desmontan tierras y de la creciente quema de combustibles fósiles (Munn, 1977; Woodwell et al., 1978; PNUMA, 1980a).



No obstante ser un gas traza ( que se encuentra en muy pequeña cantidad) en la atmósfera de la Tierra con una concentración de sólo 0.03% por volumen, cerca de 320 partes por millón ( ppm , SCEP, 1970), juega dos papeles sumamente importantes en la Biosfera.

Desde el punto de vista de los seres vivos. el  $\text{CO}_2$  puede ser la substancia inorgánica más importante sobre la Tierra, los compuestos de carbono producidos por la reducción fotosintética del  $\text{CO}_2$ , y en otros procesos metabólicos, son la materia principal de la que están hechas todas las criaturas vivas, no en balde Gilbert White refiriéndose al ciclo del carbono en la atmósfera dice que " mantiene el sistema de soporte de la vida en el planeta" (White, 1982).

El oxígeno libre que se requiere para sostener las altas tasas metabólicas de los animales, se produjo principalmente a partir del  $\text{CO}_2$  y del agua en el proceso fotosintético. Y la presencia de agua líquida, que es esencial para todas las formas de vida del planeta, depende probablemente del efecto invernadero del  $\text{CO}_2$ , lo que nos lleva a otro papel importante; su habilidad para absorber y reirradiar la radiación IR; en ausencia de este efecto los océanos podrían ser una masa sólida de hielo, la temperatura promedio de la superficie de la Tierra estaría por abajo de  $0^\circ\text{C}$  en lugar de los  $15^\circ\text{C}$  a que se encuentra actualmente y todo gracias a su efecto termorregulador (SCEP, 1970).

Casi todo el  $\text{CO}_2$  que en alguna ocasión estuvo en la atmósfera ha sido transformado en carbonato de calcio y magnesio o en materia orgánica y enterrado en los sedimentos marinos, la mayor parte del que queda está disuelto en los océanos. - Sólo cerca del 0.001% está contenido aún en el aire, pero esta cantidad es suficiente para dar un efecto de invernadero muy significativo.

La distribución mundial del carbono es como sigue: las mayores reservas se encuentran en la atmósfera, los océanos ( con su materia orgánica e inorgánica ), la flora y la fauna terrestre, los suelos, los sedimentos, y los combustibles fósiles.

En 1978 la atmósfera contenía de acuerdo con B. Bolin alrededor de 695,000 millones de toneladas métricas de carbono ( PNUMA, 1980b). La cantidad total de carbono inorgánico en el mar es aproximadamente 36 billones\* de toneladas métricas, en su mayor parte en forma de iones de bicarbonato, además el mar contiene alrededor de un billón de toneladas métricas de carbono en forma de materia orgánica disuelta; en contraste con estas cifras la materia orgánica de los océanos, principalmente el fitoplancton contiene sólo alrededor de 4,000 millones de toneladas métricas de carbono. El intercambio de carbono en forma de  $CO_2$  es muy rápido entre la atmósfera y el mar, pero mucho más lento entre las aguas superficiales y las aguas oceánicas profundas.

La materia viva que se encuentra sobre la Tierra contiene alrededor de 800,000 millones de toneladas métricas de carbono del cual el 90% se encuentra en los bosques. Cada año mediante la fotosíntesis " captura de fotones y la conversión de su energía luminosa en energía química" (Devlin, 1975), se retiran de la atmósfera aproximadamente entre 50 y 75 mil millones de toneladas métricas más de carbono del que se devuelve al aire mediante la respiración, de esta cantidad alrededor de 20,000 millones de toneladas métricas es absorbida por los bosques.

El suelo probablemente contiene entre uno y tres billones de toneladas métricas de carbono; pero las cifras son inciertas debido principalmente a las dificultades que presenta la estimación de la cantidad de turba que hay en el mundo. El carbono

---

\* un billón= un millón de millones

depositado en ella vuelve al ciclo lentamente, pero el de otros tipos de suelo permanece en ellos sólo unos pocos años o decenios.

La mayor parte del carbono del mundo está almacenado en rocas, se calcula que los sedimentos carbonatados (caliza y creta) contienen más de 10,000 billones de toneladas métricas de carbono; los combustibles fósiles recuperables contienen más de 5 billones de toneladas métricas; en condiciones naturales este carbono se reincorpora al ciclo en forma extremadamente lenta (PNUMA, 1980b).

No obstante el hombre ha quemado combustibles fósiles a un ritmo cada vez más rápido desde mediados del siglo pasado, liberando volúmenes importantes de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Este proceso se inició en forma sostenida a partir de la Revolución Industrial pero no tenemos datos del contenido de  $\text{CO}_2$  para esas fechas, por ello autores como Kellogg y Schneider en 1974, Keeling en 1975 y Rotty en 1976 (Munn, 1977); Bolin en 1979 (PNUMA, -- 1980b); Woodwell en 1978 y más recientemente Revelle (1982 y - 1984) han efectuado estimaciones al respecto. El dato más reciente (Revelle, 1984) nos dice que en 1860 había en la atmósfera de la Tierra cerca de 623,000 millones de toneladas métricas de  $\text{CO}_2$  lo que equivale a 294 ppm por volumen en la atmósfera. Los cálculos indican que tal oxidación de combustibles fósiles de 1860 a 1980 debe haber añadido a la atmósfera 162,000 millones de toneladas métricas de  $\text{CO}_2$ , un promedio de 1,350 millones de toneladas métricas/año, del lapso de 120 años comprendido en el estudio de Rotty (Revelle, 1984), no obstante, salta a la vista que el incremento debe haber sido menor en los primeros ochenta años (1860 a 1940) y mucho mayor en el período de 1940 a 1980, debido al portentoso desarrollo de la industria automotriz y en general de la industrialización planetaria.

A partir de 1957, y como parte del Año Geofísico Internacional (1957-1958), se comenzaron las mediciones periódicas de la concentración del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera por parte del Dr. Charles Keeling del Scripps Institution of Oceanography de La Joya en California, estableciéndose para ello dos bases de colecta localizadas en regiones del mundo tales que no se vieran influidas por concentraciones locales del gas, sino más bien que produjesen lecturas resultado de la circulación general de la atmósfera; una se estableció cerca de la cima del volcán Mauna Loa en las islas Hawaii en el Océano -- Pacífico y la otra en la Estación Polo Sur del Programa Antártico de los Estados Unidos, desde entonces se ha establecido una red mundial de estaciones que van desde Point Barrow en Alaska hasta la costa de la Antártida, abarcando estaciones en barcos de investigación climatológica en el océano abierto desde el Pacífico norte hasta estaciones ubicadas en las montañas de Europa Central.

Como resultado de todo ello se ha observado que la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, se ha incrementado de 315.7 ppm medidas en Mauna Loa en 1959 a 338.4 ppm para 1980, este incremento de 22.7 ppm, o de cerca del 7%, representa 48,000 millones de toneladas métricas de  $\text{CO}_2$  añadidas a la atmósfera en veintiún años, es decir, un promedio de más de 6.26 millones de toneladas métricas por día ( Revelle, 1984 ).

Una característica interesante de los datos colectados, es la existencia de variaciones estacionales: se observan los mayores valores de  $\text{CO}_2$  en la primavera y los menores en otoño, la amplitud de estas variaciones es de cerca de 12ppm a 50° latitud norte, cerca de 6 ppm en Mauna Loa y 1 a 2 ppm en el Polo Sur; podemos inferir que estas oscilaciones en la concentración de  $\text{CO}_2$  atmosférico, están relacionadas con el curso mundial anual de la fotosíntesis, lo que nos da una poderosa -

evidencia de la importancia de los intercambios bióticos -- ( Woodwell et al., 1978 ).

El contenido atmosférico de  $\text{CO}_2$  en 1980 era de cerca de 717,000 millones de toneladas métricas, es decir, 104,000 millones de toneladas métricas más que los 613,000 millones de 1850 (Stuiver, 1978; Revelle, 1984).

Ralph Rotty, del Instituto de Análisis Energético Oak Ridge Tenn., encontró que el  $\text{CO}_2$  total producido por quema de combustibles fósiles entre 1860 y 1980 correspondió a la cifra señalada de 162,000 millones de toneladas métricas; por otra parte existe consenso para considerar que las actividades humanas, principalmente tala y quema de bosques y la oxidación de su humus en el mismo período, liberaron c. 70,000 millones de TM, que añadidas a las anteriores nos dan un gran total de 232,000 millones de TM; Stuiver (1978) calcula que dos terceras partes del  $\text{CO}_2$  añadido a la atmósfera entre 1850 y 1950 se derivó de fuentes biosféricas, mientras que la quema de combustibles sólo aportó una tercera parte del  $\text{CO}_2$  liberado. -- Ello nos indica que el aporte de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera no fue -- homogéneo ni constante. Hacia finales del período, la liberación era casi en su totalidad originada por la quema de petróleo y otros (Stuiver, 1978), no obstante, en años recientes ha habido de nuevo un incremento en la liberación biosférica debido esencialmente a la tasa acelerada de destrucción de las selvas tropicales.

Si sumamos la cifra de 232,000 millones de TM a las 613,000 previamente existentes nos daría 845,000 millones de TM de carbono liberado para 1980, sin embargo, señalamos anteriormente que en ese año existían en la atmósfera sólo 717,000 millones de TM, el resto, 128,000 millones, deben haber sido absorbidos en la biosfera durante el intervalo de ciento veinte años.

Hay dos grandes polos en el ciclo anual del carbono en la Tierra:

fuentes: aclareo de bosques en general, productos de la agricultura, oxidación atmosférica del humus, respiración oceánica y continental de los animales (hombre incluido, c. 5 mil millones de personas en 1986), actividad volcánica, etc.

pozos: la atmósfera, los océanos y el crecimiento vegetal.

De acuerdo con diversos cálculos actuales se ha llegado a la conclusión de que el  $\text{CO}_2$  producido por la biota del planeta es aproximadamente igual al liberado por la quema de combustibles fósiles, el total de ambas fuentes puede exceder los 10,000 millones de TM anuales; de esta cantidad sólo 2,300 millones se acumulan en la atmósfera. Y aunque mucho se ha dicho de que el  $\text{CO}_2$  en exceso puede actuar como un estimulante del crecimiento vegetal, Lemon ha demostrado que el efecto es probablemente pequeño (Woodwell, 1978), el incremento anual de producción primaria (fotosintética) debido a esta fuente no debe exceder los 200 millones de TM de carbono, incremento demasiado pequeño para compensar la pérdida por tala. El resto del  $\text{CO}_2$  -- probablemente entre al mar.

Con un flujo neto de  $\text{CO}_2$  de la biósfera continental a la atmósfera parecería que el único pozo que puede absorber el exceso sería el océano (Stuiver, 1978), no obstante los estudios oceanográficos de Broecker, Li y Peng de 1975 y los de Oeschger et al. en 1975 parecen indicar que los mares sólo pueden absorber del 35 al 45% del  $\text{CO}_2$ , un índice de absorción mucho mayor al parecer sería incompatible con los conocimientos seguros de que se dispone sobre la química del carbono y con lo que se sabe en la actualidad de la mezcla vertical en el mar [(A. Björkström, 1979) PNUMA, 1980b].

lo que sí es un hecho real y cuantificado constantemente por técnicas apropiadas es el incremento lento pero constante de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera de la Tierra producido en un buen porcentaje por la tala de las selvas tropicales. Actualmente el nivel de  $\text{CO}_2$  se incrementa en c. 0.4% anual, desde 1900 se ha incrementado en 15% (Clarke y Palmer, 1983). Estos niveles que ya nos parecen elevados contrastan con los señalados por Devlin (1975) para el período Carbonífero cuando eran de 200 a 300 veces mayores que hoy en día, pero ello es precisamente lo que nos preocupa; aunque no se vislumbre un incremento próximo de tal magnitud, diversos autores (Kukla y Matthews, 1972; Bryson, 1974; Kellog y Schneider, 1974; Broecker, 1975; Wang *et al.*, 1976; Munn, 1977; Cook, 1983; Clarke y Palmer, 1983 y Revelle, 1984) han manifestado ya su preocupación por el calentamiento que al aumentar el  $\text{CO}_2$  debe producirse en la baja atmósfera; de elevarse la temperatura en forma sensible los bosques serían los primeros en resentirla ya que una elevación de cierta consideración provocaría:

- aumento de evaporación, que reduciría el nivel de los mantos freáticos y la permeabilidad de los suelos, a la vez que provocaría una disminución de la humedad que las plantas transferen del suelo al aire.
- disminución de la masa forestal en ciertas zonas al crear las condiciones de deterioro que permitan la proliferación de plagas y enfermedades de los árboles y al propiciar la propagación de los incendios forestales por la resequedad de las hojas y arbustos.
- reducción de la humedad ambiental en ciertas zonas lo que repercutiría en una disminución de alimentos para las plantas al descender el ritmo de circulación de la savia, lo que frenaría el crecimiento arbóreo (Carrillo, 1976).

De acuerdo con Broecker (1975), y considerando solamente el  $\text{CO}_2$  producido por la quema de combustibles fósiles, hacia 1980 la temperatura global se había elevado ya en  $0.42^\circ\text{C}$ . La mayor preocupación se deriva de la proyección de las tendencias actuales, según Christopher Flavin (Brown et al., 1986) el uso de combustibles orgánicos para obtener energía mediante la combustión se ha incrementado en 24% entre 1971 y 1980 y no se espera que descienda la tasa de incremento. El insumo anual ha aumentado a una tasa de 4% desde 1940 pero ha permanecido casi constante desde 1974 a un nivel de 4,500 millones de TM anuales aproximadamente. Las observaciones de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera indican un aumento anual durante los últimos años de alrededor de 2,200 millones de TM, es decir, más o menos la mitad de la cantidad originada por la quema de combustibles fósiles, ésta no es ni con mucho uniforme en la Tierra. Los Estados Unidos producen más del 25% del total del  $\text{CO}_2$  procedente de combustibles fósiles y en conjunto Norteamérica, Europa y la URSS producen el 75%; de acuerdo con Rotty (PNUMA, 1980b) en el año 2025 se desprenderán anualmente en forma de  $\text{CO}_2$  23,000 millones de TM de carbono, es decir, 4.5 veces la cantidad actual.

En cuanto a los bosques tropicales hemos analizado ya las tendencias que en ningún momento parecen halagüeñas. Según un cálculo de Louis Huguet de la FAO, en 1979, la oxidación del carbono contenido en la " cosecha en pie" de 8 millones de hectáreas de bosque, produce aproximadamente tanto  $\text{CO}_2$  como la quema de unos 400 millones de TM de carbono y el cálculo actual (PNUMA, 1980b) de la transferencia bruta anual de  $\text{CO}_2$  procedente de combustibles no-fósiles a la atmósfera asciende, de acuerdo con Bolin, a 4,800 millones de TM de carbono, cantidad que equivale aproximadamente al insumo anual procedente de combustibles fósiles en 1976.



Es decir, que no parece probable que las dos fuentes principales de  $\text{CO}_2$  disminuyan su aporte en los años venideros, lo contrario más bien es contemplado ya por los investigadores ; Robert White de la Corporación Universitaria para Investigación Atmosférica dice " si las proyecciones en el consumo de combustibles fósiles son correctas y el sistema climático se comporta como lo ha hecho en el pasado, podemos esperar que se duplique la cantidad de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera alrededor de mediados del próximo siglo, si esto sucede, esperamos un incremento de  $3^\circ\text{C}$  en la temperatura global promedio, lo que puede no parecernos mucho, pero desde el punto de vista climático es un cambio muy grande en la temperatura global, la clase de cambio que ocurre entre una era glacial y otra que no lo es" (Clarke y Palmer, 1983).

De acuerdo con los modelos desarrollados hasta 1982 la temperatura no cambiaría homogéneamente en el planeta, en los trópicos el incremento sería pequeño, probablemente menor de dos grados centígrados, mientras que en altas latitudes sería mucho mayor, probablemente de 4 a 5  $^\circ\text{C}$  a la latitud  $45^\circ\text{N}$  (Montreal y Venecia) y tal vez más de  $9^\circ\text{C}$  durante el invierno a  $70^\circ\text{lat.N}$ , dentro del círculo polar ártico (Revelle, 1984).- Habrá igualmente cambios concomitantes en los patrones de lluvia pero Revelle calcula que los efectos se retrasarán de 10 a 30 años debido a que primero deben calentarse el océano y la atmósfera, se requerirá tiempo para que el aumento en la temperatura del océano penetre por abajo de la capa de mezcla superior, cuando finalmente se alcance el equilibrio la elevación de la temperatura será probablemente mayor que la estimada a partir de la concentración aislada del  $\text{CO}_2$ , debido a que a los otros gases de invernadero, que ya hemos mencionado que absorben y reirradian radiación IR, están aumentando también constantemente su concentración en la atmósfera.

Se ha mencionado también que un calentamiento de la baja atmósfera debido al efecto invernadero de los diferentes gases podría tener efectos diversos sobre distintas formas de cubierta de nieve y de hielo (casquetes de hielo, hielos marinos y manto de nieve perpetua o estacionario) también existe una remota posibilidad de que el calentamiento pudiera causar el desplazamiento y derretimiento del hielo que cubre ciertas tierras, especialmente la Antártida Occidental causando una elevación del nivel del mar en todo el mundo (PNUMA, 1980b); UICN, 1980).

#### Bosques templados

Aproximadamente el 50% de los bosques del mundo están situados en zonas templadas, la mayor parte del área que cubren (2,050 millones de hectáreas) está situada en el hemisferio norte y principalmente en los países industrializados de Europa, América del Norte, y en la URSS y el Japón. Alrededor de un 10% de los bosques de las zonas templadas se encuentran en el hemisferio sur principalmente en América Latina, Australia y Nueva Zelanda y sólo el 13% en países y regiones en desarrollo, fundamentalmente en China, Asia Oriental y América del Sur.

Estos bosques son en su mayor parte formaciones cerradas (80.5%=1,650 millones de hectáreas), el resto (19.5%=400 millones de hectáreas) son formaciones forestales abiertas. Los bosques de estas zonas están formados en un 33% por especies frondosas y en un 67% por coníferas, casi las dos terceras partes de las reservas mundiales de coníferas están situadas en las zonas templadas (FAO, 1985a).

Hay dos características importantes que diferencian a los bosques templados de los bosques tropicales: la diversidad de

especies y la composición y espesor del suelo sobre el que viven.

La diversidad de especies tiende a ser menor que en los trópicos, de hecho aquí estamos considerando dos grupos de vegetación diferentes entre sí, los bosques de coníferas - correspondientes en su mayoría a la taiga del norte del planeta, y los bosques formados por diferentes especies generalmente caducifolias en invierno, y que enfrentan condiciones climáticas menos extremas debido a su ubicación geográfica; podemos decir que en general estos bosques templados caducifolios muestran mayor crecimiento en el sotobosque, una capa de dosel más variada y más especies de animales que los bosques de coníferas en donde la dominancia numérica de en ocasiones una o dos especies, se puede extender a través de miles de hectáreas, lo que ocasiona un dosel de una sola capa. La mayor parte de los árboles en los bosques de coníferas mantienen su follaje a través de todo el año, excepto -- los alerces del norte de Asia (Larix spp.) que son caducifolios y abarcan una gran extensión en Siberia (Johnson, 1977; Strahler y Strahler, 1979), y probablemente su estructura - peculiar y repetitiva crea una cierta monotonía ambiental, la que puede influir junto con las condiciones climáticas particulares para que exista un número determinado - y no muy - elevado - de organismos animales asociados (Boorer, 1977); ello no quiere decir que la taiga sea un ecosistema pobre en diversidad biológica, lo que pretendo es señalar la diferencia con la asombrosa riqueza biótica de los trópicos. Ambos extremos de condiciones ambientales con sus comunidades particulares sólo demuestran una vez más la extraordinaria capacidad de adaptación de los seres vivos.

Incluso se piensa que la fauna ártica es demasiado joven y aún no ha alcanzado su máxima diversidad (Hutchinson, 1959) mientras que como hemos señalado los trópicos y sus bosques - tienen c. 65 millones de años de permanencia evolutiva lo que ha producido esa gran diversidad de habitats y de nichos que en ellos encontramos, en los que habitan y se desempeñan millones de especies animales, vegetales y de otros organismos.

En cuanto a los suelos, a diferencia de - en general - los suelos pobres y superficiales de los trópicos, en las regiones templadas de los bosques latifoliados caducifolios, -- los suelos tienden a ser fértiles y profundos lo que históricamente se tradujo en Europa y Norteamérica en una fuerte demanda de suelos forestales para el desarrollo de actividades agrícolas (Holdgate et al., 1982).

En los suelos de la taiga el agua se llega a congelar - de 5 a 7 meses consecutivos del año, precisamente aquéllos - en que las coníferas no necesitan de ella, y en algunas regiones de Siberia el suelo se encuentra permanentemente congelado (Strahler y Strahler, 1979), ello trae como consecuencia una baja tasa de descomposición orgánica y por lo tanto el - húmus se acumula desarrollando un amplio perfil de materia orgánica. Ello sucede también en los bosques templados latifoliados en donde el piso del bosque queda cubierto por la - nieve en grandes regiones durante el invierno.

Podemos considerar que en general los árboles de ambas - zonas desarrollan sistemas radiculares profundos y aunque en ocasiones se observan en el piso del bosque raíces de algún - ejemplar, la toma de nutrientes se realiza directamente del - suelo a la raíz y a través de ella al árbol; contrariamente a lo señalado para zonas importantes de la Amazonia en donde los nutrientes son reciclados rápidamente.

### Lluvia ácida

La producción de madera para diversos usos: rollos industriales, madera aserrada, páneces a base de madera, papel y leña se ha mantenido constante e incluso con incrementos en algunos rubros en los países desarrollados; no obstante, la superficie de bosques en la zona templada es más o menos estable con un índice relativamente alto de renovación mediante actividades de reforestación (Wardle, 1985); empero, en años recientes, extensas zonas de bosques en Europa y Norteamérica han sufrido mermas importantes debido a un nuevo factor ambiental para el que, al parecer, los árboles no están preparados evolutivamente hablando; este nuevo impacto ambiental es un producto de la industrialización -quema de combustibles fósiles: la lluvia ácida.

El término lluvia ácida se utiliza comúnmente para designar lluvia, nieve, cellisca y granizo que tengan un valor de pH menor de 5.5 a 5.6 (Likens, 1982) es decir que su acidez sea mayor que la normal.

El agua en la atmósfera es esencialmente pura o destilada ya que proviene de la evaporación del océano y otros cuerpos de agua y de la transpiración de las plantas; una vez que el vapor de agua alcanza la atmósfera, se combina ahí con sustancias presentes como el  $\text{CO}_2$ , este gas se disuelve en el agua y forma ácido carbónico ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ ) el que por ser un ácido débil se disocia ligeramente en agua destilada dando iones hidrógeno e iones bicarbonato ( $\text{H}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ ); en las concentraciones y presiones del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera ello imparte a la lluvia y nieve un pH de 5.6 (Likens et al., 1979).

¿Cómo se forma la lluvia ácida? además del  $\text{CO}_2$  del que hemos hablado ya extensamente, existen otros muchos gases que alcanzan la atmósfera, entre ellos podemos señalar los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y los de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). En general se puede decir que los compuestos de azufre que se incorporan a la atmósfera son

producto en gran medida de las actividades humanas, sin embargo, Taylor en 1980 calculó que sólo una tercera parte de los óxidos de azufre de la atmósfera derivan de la actividad humana (Kabata-Pendias, 1983); Likens (1982) reporta emisiones de  $\text{SO}_2$  de más de 55 millones de TM en Europa y - 27 millones de TM en Estados Unidos para 1980 por lo que - el PNUMA (1983) concluye que el  $\text{SO}_2$  antropogénico que va a la atmósfera cada año debe oscilar entre 75 y 100 millones de TM; las fuentes principales de emisión de  $\text{SO}_2$  en Estados Unidos son:

combustión de carbón	58.2%
combustión y refinación de petróleo	19.6%
fundición de minerales	12.2%
procesos de refinación	5.5%
otros: producción de coque, de ácido sulfúrico e incineración	4.5%

como se puede observar la mayor producción de óxidos c.84% está relacionada con la transformación y combustión de energéticos fósiles.

Por otra parte se ha estimado, por Cullis en 1980 y por Charlson y Rodhe en 1982, que los procesos naturales liberan a la atmósfera entre 78 y 284 millones de TM de azufre en forma de óxidos (PNUMA, 1983). No obstante Manahan (1984) señala que si bien estimaciones previas indicaban que la gran fuente de  $\text{SO}_x$  a la atmósfera era el ácido sulfhídrico producido por la acción microbiana, cálculos recientes indican que la cantidad de éste ácido añadida a la atmósfera por la desintegración de materia orgánica y por la reducción biológica de los sulfatos se ha reducido drásticamente y puede ser tan pequeña como un teragramo anual ( un teragramo= un millón de TM). Otras fuentes naturales son el océano y los volcanes; la reacción que transforma ac. sulfhídrico en  $\text{SO}_2$  es:  $\text{H}_2\text{S} + 3/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

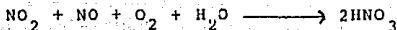
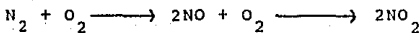
En cuanto a los óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>, que de acuerdo con El-Hinnawi y Hashmi (1982) responden por un 30 a un 40% del problema, hay tres tipos en la atmósfera: el óxido nítrico (NO), óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El primero es producido por procesos microbiológicos y es un componente natural de la atmósfera no contaminada en concentraciones de 0.3 p.p.m., por el contrario el NO incoloro e inodoro y el picante NO<sub>2</sub> café rojizo que colorea el smog urbano son muy importantes en el aire contaminado; colectivamente se designa a ambos gases como NO<sub>x</sub> y entran a la atmósfera de -- fuentes naturales mediante las descargas eléctricas y la actividad biológica, y de fuentes antropogénicas; prácticamente todo el NO<sub>x</sub> producido por el hombre se incorpora a la atmósfera como resultado de la combustión de energéticos fósiles tanto estacionarios (industrias, termoeléctricas, hogares y otras) como móviles (transporte en general). Se calcula que anualmente se liberan a la atmósfera por esta vía c. 86 millones de TM (Manahan, 1984) y entre 20 y 90 millones de TM por procesos naturales de acuerdo con Söderlund en 1976 y Logan en 1983 (PNUMA, 1983).

En términos generales, y a pesar de las variaciones en el cálculo de las fuentes naturales, podemos decir que a nivel mundial las emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> originadas por la naturaleza y el hombre son equivalentes en orden de magnitud y este es precisamente el problema en términos evolutivos, no en balde Harper (1977) dice que la ecología es evolución en acción. La biota terrestre y oceánica recientes han vivido y se han adaptado o extinguido en condiciones de liberación de óxidos de azufre y nitrógeno de una cierta magnitud, cuando el hombre mediante su actividad duplica esta cantidad y además lo hace en forma repentina, los organismos no están "preparados evolutivamente" para enfrentar este tipo de agresión química y el efecto sobre su valor de adecuación no se hace esperar; a nivel mundial dice

Alina Kabata-Pendias (1983) los óxidos de azufre - en particular el dióxido de azufre- son los contaminantes más destructivos de la vegetación, del suelo y de diversos productos humanos.

El daño es ocasionado en dos formas diferentes entre sí pero complementarias, la primera es llamada el depósito seco y se refiere a la precipitación desde la atmósfera hacia el suelo de los óxidos de azufre y nitrógeno, fenómeno que se manifiesta sobre todo en los alrededores de los sitios en donde se produce la emisión, por ejemplo en torno a las chimeneas de fábricas y termoeléctricas. Esta es la razón por la que en los últimos años se ha optado por construir chimeneas cada vez más altas ya que se observó que en esta forma disminuye el daño a escala local, no obstante, se ha detectado también que ello no elimina el problema, simplemente lo desplaza a regiones más amplias y más alejadas ayudando además a la formación del depósito húmedo o lluvia ácida.

El mecanismo básico para la formación de la lluvia ácida es muy simple, los óxidos de azufre y nitrógeno emitidos a la atmósfera (precursores) sufren una serie de reacciones químicas complejas en la atmósfera y producen finalmente ácido sulfúrico y ácido nítrico de acuerdo con las siguientes reacciones:





El proceso de conversión es lento, aproximadamente 1% de los óxidos liberados es convertido en ácidos cada hora, se calcula que aproximadamente el 50% de los óxidos emitidos se precipita por gravedad como partícula durante el depósito seco, y el restante 50% se mantiene en la atmósfera -- días o incluso semanas hasta convertirse en moléculas de los ácidos señalados y precipitarse hacia la superficie con las lluvias, cellisca, nieve o granizo dependiendo de la región y época del año (Clapham, 1981).

La " solución británica" de construir altas chimeneas de hecho acrecentó el problema, debido a que el carbón contiene cerca de 5% de azufre pero también contiene pequeñas cantidades del metal vanadio el que es liberado igualmente durante la combustión; las altas chimeneas mantienen al vanadio y al dióxido de azufre en contacto durante un tiempo suficiente para que el metal actúe como catalizador del gas convirtiéndolo a éste en  $SO_3$  (Hume, 1981).

La magnitud del problema se puede apreciar en base a los datos obtenidos por el Programa Cooperativo para la Vigilancia y Evaluación de la Transmisión a Larga Distancia de Contaminantes del Aire en Europa (EMEP), por la Convención sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia, establecida en 1979 y por el Programa Nacional de Depósito Atmosférico (PNDA) de los Estados Unidos y la Red Atmosférica Canadiense para el Muestreo de Contaminantes Atmosféricos (RACMCA). Por cierto estas dos naciones han firmado ya un Memorandum de Intención en relación con la contaminación atmosférica transfronteriza (PNUMA, 1983).

Fueron los suecos quienes plantearon en la Conferencia de Estocolmo en 1972 el problema contemporáneo de la lluvia ácida, no obstante, este no es nuevo en Europa; el químico inglés Angus Smith fue el primero en estudiar y describir el fenómeno

en un tratado sobre la lluvia ácida en la ciudad de Manches-  
ter en 1872; fue él precisamente quién acuñó el término -  
(Clapham, 1981).

Las opiniones suecas en la Conferencia de Estocolmo fue-  
ron tomadas con ciertas reservas sobre todo por los países  
emisores (de los gases) pero no faltaría mucho tiempo antes  
de que se comprendiese que los suecos tenían razón; los óxi-  
dos de azufre y nitrógeno no reconocían fronteras y se calcu-  
laba que tanto en regiones de Escandinavia como de Suiza la  
mayor parte de sus depósitos ácidos provenían del exterior  
( Warner, 1979).

De hecho en la Europa de mediados de los cincuenta y -  
hasta principios de los setenta, los niveles de azufre en -  
la atmósfera se incrementaron en 50%, mientras que en el cen-  
tro de Europa y Escandinavia se duplicaron ( Clarke y Palmer,  
1983; Holdgate et al., 1982).

A nivel global las emisiones se están incrementando, son  
mucho más altas en el hemisferio norte ( 145.5 millones de  
TM/año) que en el hemisferio sur (5.5 millones de TM/año), y  
entre 1970 y 1980, la emisión antropogénica de SO<sub>x</sub> creció en  
5%/año lo que resultó en un incremento total para la década  
de 40 a 50% ( El-Hinnawi y Hashmi, 1982). Esto ha ocasionado  
que en grandes extensiones del planeta la lluvia y la nieve  
sean de 5 a 30 veces más ácidas que el valor mínimo normal -  
(pH 5.6) de no existir tal contaminación atmosférica; ello  
ha provocado tormentas individuales cientos o miles de veces  
más ácidas que lo esperado. Así gran parte del este de los  
Estados Unidos y el oeste de Europa están sujetos normalmente  
a la lluvia ácida. En general la lluvia veraniega del noroes-  
te norteamericano tiene típicamente un valor de pH de 3.7 a  
3.8, mientras que el valor normal en invierno va de 4.2 a 4.3;  
en cierto número de lugares en ambos continentes se han regis-

trado incluso valores pH de 2 a 3 . Para darnos una idea de lo que significan estos valores ejemplifiquemos con una típica tormenta registrada en la ciudad de Ithaca en Nueva York el 23 de octubre de 1975 con un pH de 4.01, la acidez estaba determinada en 57% por ácido sulfúrico, en 39% - por ácido nítrico y en 2% por los ácidos orgánicos: cítrico, isocítrico, fúlvico y málico. En promedio cerca del 60 al 70% de la acidez cuantificable en lluvia y nieve en el este de los Estados Unidos proviene del ácido sulfúrico y el resto del ácido nítrico (Likens, 1982).

Los efectos de esta clase particular de lluvia sobre los organismos y ecosistemas son devastadores, las corrientes de manantiales y los lagos de altura son especialmente susceptibles a los efectos de la lluvia ácida y pueden sufrir la pérdida de peces y demás organismos acuáticos. Otros efectos incluyen reducciones en la productividad de bosques y cultivos; pérdidas ( por filtración) de cationes nutrientes y metales pesados de suelos, rocas y sedimentos de lagos y corrientes; disolución de metales como plomo y cobre de la red de distribución de agua potable, corrosión de metales expuestos; y disolución de la piedra caliza y mármoles de edificios y monumentos (Manahan, 1984).

Los lagos y los ríos fueron las primeras víctimas reconocidas de la lluvia ácida, cientos de lagos en diversas partes de Escandinavia, el nordeste de los Estados Unidos, el sudeste del Canadá y el suroeste de Escocia se han vuelto ácidos. Estas regiones son particularmente vulnerables debido a que sus suelos y lechos rocosos ofrecen poca protección contra la lluvia ácida por estar compuestos de minerales como granito, gneiss y rocas ricas en cuarzo que contienen poca caliza y no se descomponen fácilmente por lo que no pueden neutralizar la acidez del agua de lluvia.

En el sur de Suecia se ha observado que las poblaciones de peces han sufrido daños en más de 15,000 lagos (Likens, - 1982), en el sur de Noruega la acidificación de miles de lagos y corrientes de agua dulce en un área de 33 mil kilómetros cuadrados ha hecho que 1,750 de ellos hayan perdido ya todos sus peces y 900 lagos más experimentan graves dificultades. En Canadá cerca del 20% de todos los lagos examinados hasta el momento en Ontario se han acidificado o son sumamente sensibles a este proceso, igual sucede con el 45% aproximadamente de los lagos en diversas regiones de Quebec suroccidental y en muchos lagos de las provincias atlánticas de Canadá, las cantidades de ácido han aumentado de 10 a 30 veces en los dos últimos decenios (PNUMA, 1983).

La Comisión Internacional Conjunta de Estados Unidos y Canadá ha estimado que cerca de 50,000 lagos en los dos países no tendrán peces dentro de 15 años si las tendencias actuales continúan (Clapham, 1981). De acuerdo con un estudio realizado por el Instituto de Ecología en Indianápolis, Estados Unidos, y publicado en 1982, se reporta que la lluvia ácida ha incrementado la acidez de aproximadamente 40,000 kilómetros de corrientes y 3,000 lagos sólo en el noreste de los Estados Unidos; las áreas más afectadas son: Connecticut, Maine, New Hampshire, Rhode Island y Nueva York; el estudio reporta también una disminución en la alcalinidad de muchos más lagos y corrientes aunque aún no se han vuelto ácidos - (Manahan, 1984).

Debido a la precipitación ácida aumenta la cantidad de aluminio en el agua y se ha observado que concentraciones mínimas de 0.2 mg. de aluminio/litro en las aguas ácidas son letales para los peces; éste es el mecanismo mediante el cual estos organismos han desaparecido de los lagos, es decir, envenenamiento por aluminio y no a causa directa de la acidez del

agua, al mismo tiempo los fosfatos, fuente de alimentación del fitoplancton y otras plantas acuáticas, se adhieren al aluminio combinándose químicamente y empiezan a escasear como nutrientes; así pues, a medida que aumenta la acidez - aumenta el aluminio y con niveles mayores de éste se reduce la producción primaria de la que dependen las otras formas de vida acuática, además, al incrementarse la acidez del agua aumenta la solubilidad (a partir del sustrato rocoso) de otros metales como el cadmio, zinc, plomo y mercurio (PNUMA, 1983); varios de ellos son muy tóxicos y pueden ser ingeridos por los organismos en las cadenas tróficas con su consecuente envenenamiento o daño fisiológico tal que incida sobre su adecuación.

Likens (1982) señala otro efecto interesante, el musgo Sphagnum spp. crece en el fondo de los lagos acidificados; - comúnmente Sphagnum se extiende sobre la superficie lacustre particularmente alrededor de lagos pantanosos y eventualmente los cubre, pero en lagos acidificados el musgo cubre el fondo y minimiza de manera efectiva el flujo de nutrientes desde los sedimentos hacia la capa superior acuosa, como resultado el agua se vuelve muy ácida, pobre en nutrientes y muy clara.

Los suelos se encuentran normalmente en mejores condiciones que los lagos, ríos y corrientes para resistir la acidificación, por lo cual pueden absorber cantidades muy superiores de ácido sin que ello produzca efectos ecológicos negativos evidentes. Su vulnerabilidad está en función de su tipo, clase de lecho rocoso que recubre y utilización por parte del hombre; los suelos más vulnerables son aquellos cuyos lechos rocosos son pobres en calizas y están recubiertos de capas de tierra poco profundas que contienen ligeras concentraciones de sustancias capaces de combinarse químicamente con los ácidos protegiendo al suelo; los suelos de gran parte de Escandinavia y el sureste de Canadá son de este tipo (Likens et al., 1979),

La acidificación de los suelos puede acelerar el ritmo de lixiviación de nutrientes como potasio, magnesio, calcio y otros micronutrientes del suelo disminuyendo su fertilidad, e igualmente a lo señalado para el agua en los lagos. La acidificación trae como consecuencia mayores concentraciones de aluminio que producen daño en las plantas y reducen su disponibilidad de fosfatos. Debemos recordar que el fósforo es el elemento limitante por excelencia en la biosfera, ya que a la vez que participa fundamentalmente en la vida ( $ADP \rightleftharpoons ATP$ ) y en su perpetuación (como constituyente del código genético) existe en disponibilidad limitada debido al ciclo peculiar que presenta; su reciclaje a diferencia de lo que sucede con el nitrógeno o el carbono, se da en tiempos geológicos de decenas o centenas de millones de años a partir de su depósito en el lecho marino, vía tectónica de placas y vulcanismo, y por ello es tan importante para los seres vivos allí donde sea escaso como nutriente debido a procesos como los producidos por la lluvia ácida. Tiene un gran peso sobre las posibilidades de vida de los organismos. También como en el caso del agua, cadmio, zinc, plomo, mercurio, fierro, manganeso y otros metales, pueden difundirse al medio ambiente en forma más fácil si sufren el proceso de acidificación (PNUMA, 1983).

Durante años diferentes autores (Likens et al., 1979; -- Clapham, 1981; Likens, 1982; Clarke y Palmer, 1983; El-Hinnawi y Hashmi, 1982; y PNUMA, 1983) han discutido sin ponerse de acuerdo sobre el daño que la lluvia ácida ejerce sobre la vegetación y en particular sobre los bosques, no obstante en años recientes, otros autores (Holdgate et al., 1982; Kabata-Pendias, 1983; Manahan, 1984; FAO, 1985a; Brown, 1985) han confirmado sus efectos sobre la vegetación.

El agua de lluvia que corre por la superficie de las plantas tiene una mayor concentración de elementos debido al lavado o lixiviación de iones del follaje, como consecuencia aumenta la acidez en la superficie de las plantas, por ejemplo en la corteza de los árboles. Los efectos de la precipitación ácida sobre la vegetación son :

- daños en la estructura superficial protectora
  - aceleración de la erosión cuticular
- perturbación del intercambio gaseoso
  - el mayor daño con el dióxido de azufre ocurre cuando los estomas (que permiten el intercambio gaseoso) están abiertos, en la mayor parte de las plantas ello ocurre durante el día y es cuando se presenta el mayor daño por este gas.
- perturbaciones en el sistema clorofílico de las hojas que reduce su capacidad fotosintética, lo que retrasa el crecimiento y debilita al árbol haciéndolo más sensible a la sequía y a los patógenos. Ello se debe a que los gases de azufre, así como también los de nitrógeno, el ozono y los nitratos peroxiacetíficos (NPA), componentes del smog fotoquímico típico de muchas grandes ciudades, dañan las células mesófilas de las hojas destruyendo los cloroplastos. En términos bioquímicos la toxicidad de los óxidos de azufre puede surgir a través de su interferencia en la formación e incorporación de sulfatos, en compuestos esenciales como la cisteína y la metionina
- afecta la germinación de las semillas de las coníferas y el establecimiento de plántulas.
- afecta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, a la vez que disminuye su respiración y - como ya señalamos - incrementa el lavado/pérdida de iones nutritivos del suelo.

- altera los procesos de exudación de las hojas y las raíces, lo que afecta a las poblaciones de microorganismos asociadas a ellas.
- interactúa en forma sinérgica con otras tensiones ambientales afectando la adecuación vegetal.

[ ( Mudd y Koslowski, 1975; Abrahansen et al., 1976; Malmer, 1976; Tamm, 1976; Ramade, 1977; Treshow, 1978) Holdgate et al., 1982], (Kabata-Pendias, 1983) y (FAO, 1985a).

Uno de los efectos más frecuentes de la precipitación ácida es la reducción de la productividad de ecosistemas naturales no ordenados como los bosques, en cambio las prácticas agrícolas normales no sufren los efectos deletéreos del depósito del azufre si la precipitación ácida no afecta directamente a la vegetación o bien si los suelos tienen suficientes nutrientes para las plantas.

La lluvia ácida es particularmente insidiosa pues cuando sus efectos se hacen evidentes por la pérdida de hojas o la irregularidad del crecimiento, con frecuencia ya es demasiado tarde para salvar los árboles.

Los daños causados por la lluvia ácida a los bosques han alcanzado graves niveles en Escandinavia, Polonia, Checoslovaquia, República Democrática Alemana, Alemania Federal, Austria, Suiza, el norte de Francia, Bélgica y Luxemburgo (FAO, 1985a); también se han reportado daños en Rumania y Holanda. En los Estados Unidos se han detectado daños en los bosques de abetos rojos desde los montes Apalaches en Virginia hasta las Montañas Blancas de Nueva Inglaterra, en 1984 los investigadores reportaron daños en Carolina del Norte (Brown et al., 1985) y en Canadá se han reportado daños importantes al pino blanco en zonas alejadas hasta en 50 kilómetros de las refinerías de metal (Holdgate et al., 1982), no obstante, con mucho los mayores daños en bosques se han reportado en la República Federal Alemana y en Polonia.



De acuerdo con una investigación realizada en 1982 el ministro de agricultura , alimentos y silvicultura estimó que el 8% del área boscosa de Alemania Federal estaba dañada, un año después una investigación más elaborada encontró dañados 2.5 millones de hectáreas, el 34% de los bosques del país; y una tercera y más reciente investigación llevada a cabo en el verano de 1984 encontró que están dañados la mitad de los bosques alemanes. Vale señalar que una tercera parte del territorio de la República Federal Alemana está o estuvo cubierta de bosques hasta años recientes.

Los árboles más afectados han sido abetos rojos, pinos y abetos, que juntos representan dos terceras partes de los bosques alemanes y además la devastación no muestra signos de disminuir.

En Polonia y Checoslovaquia están afectadas 971,280 hectáreas y los ecólogos han señalado que, de continuar los proyectos actuales de industrialización, para 1990 se habrán perdido 2.83 millones de hectáreas de bosques polacos -- (Brown et al., 1985).

Por si todo ello no fuera suficiente: destrucción de selvas tropicales por actividad directa humana y de bosques templados por contaminación ambiental, el hombre contemporáneo se ha ingeniado para desarrollar un nuevo tipo de impacto biológico más directo, rápido y radical que los señalados hasta aquí. Me refiero a las actividades militares en donde en forma deliberada se han ejercido acciones ecodidas contra los bosques de la Tierra; aludo a la aplicación masiva de herbicidas químicos -defoliantes- altamente tóxicos no sólo para las plantas sino para sus organismos asociados, el hombre inclusive, y que fueron aplicados en el sur de Vietnam

para destruir totalmente 150,000 hectáreas de bosques de manglares y causaron daños en otras 1.5 millones de hectáreas; la recuperación está resultando alarmantemente lenta de acuerdo con los estudios de A. H. Westing en 1976 y 1980 ( PNUMA, 1980b).

Además uno de los defoliantes contenía como impureza más de 100 kilogramos de dioxina y la difusión de esa sustancia ha causado desde entonces; defectos de nacimiento, abortos y cáncer de hígado en los seres humanos.

Esta deforestación química en zonas tropicales de suelos frágiles, o en zonas semiáridas que se encuentran ya en un precario equilibrio en las fronteras del desierto, podría causar la rápida erosión del suelo y la desertificación irreversible (PNUMA, 1980b).

## C A P I T U L O IV

## S U E L O S

El hombre ha perturbado los suelos de la Tierra probablemente desde el momento en que inventa la agricultura y se establece en ciudades, cambiando su actividad y por lo tanto su relación ecológica con el medio ambiente al pasar de recolector-cazador-pescador nómada a ser un agricultor-sedentario.

Ambos sucesos pueden ubicarse en un contexto histórico sincrónico ya que de acuerdo con Heiser (1975) el cultivo del trigo aparece en el sudoeste del actual Irán entre 7,500-6,750 a.n.e., y el del mofz en Tehuacán, México, c. 5,000 a.n.e., aunque aquí la agricultura se remonta en lo que hoy es Tamaulipas a 7,000-5,500 a.n.e.; en cuanto al arroz hay evidencia arqueológica de su presencia en lo que hoy es Tailandia entre 5,000-3,500 a.n.e., no obstante no ser muy claro el origen de su cultivo; paralelo a ello, la domesticación de animales aparece también en esas épocas: cabras, 8,050 a.n.e. en Irán centrooccidental; ovejas, -- 7,200 a.n.e. en Tesalia, Grecia; ganado vacuno y los cerdos en la misma región griega aproximadamente en 7,000 a.n.e. El pastoreo de estos animales tuvo entonces y siempre en la Historia, particularmente en nuestro tiempo, un efecto relevante sobre los suelos.

He señalado solamente tres cereales en cuanto a la agricultura debido al papel que desempeñan como alimento fundamental para el hombre; el arroz, es el alimento básico de -

más de la mitad de la población del mundo (2,500 millones de habitantes en 1984) y por lo tanto de él procede más energía alimentaria que de cualquier otro alimento; el trigo, constituye la base de la alimentación de unos 820 millones de personas y es el cereal más importante en el comercio internacional por ser el más utilizado para la preparación del pan, debido a la calidad y cantidad del gluten que contiene; el maíz, se cultiva casi en todas partes y constituye el alimento más importante de diez y ocho países con una población en 1984 de 213 millones de personas (FAO, 1984a).

De acuerdo con J. Braidwood de la Universidad de Chicago la agricultura, independientemente de donde se haya desarrollado, no condujo en línea recta a las aldeas, a una vida sedentaria ni a las ciudades y sus logros (Hamblin, 1975); no obstante, en la época en la que surge la agricultura se desarrollaron un poco antes o un poco después los primeros asentamientos en que se establecieron los hombres para desarrollar la civilización. Diferentes estudios arqueológicos han mostrado, en base al análisis de radio carbono, que las ciudades más antiguas conocidas hasta hoy son: Jericó - 9,216  $\pm$  107 en Palestina y Jarmo 9,250  $\pm$  200 en el actual Iraq, en donde también se han localizado: Zawi Chemi en Shanidar 8,920  $\pm$  300 y Ganj Dareh 8,450  $\pm$  150 en el sudoeste del actual Irán (Oates y Oates, 1976). En el Nuevo Mundo las ciudades que hasta la fecha se han descubierto se encuentran en Ocos, Tehuacán y Oaxaca y posteriormente la civilización Olmeca en La Venta y San Lorenzo, todas ellas en México (Braid et al., 1975). Aunque la primera ciudad mesoamericana propiamente dicha fue Ostoyahualco o Teotihuacan I como la han llamado los arqueólogos (Norton, 1967).

Ambos desarrollos incipientes, agrícola y urbano, tuvieron el mismo efecto perturbador sobre el suelo, la agricultura utilizó los suelos para producir alimentos y la urbanización se asentó sobre ellos sepultándolos bajo arcilla y piedra y recientemente bajo el asfalto.

El suelo puede verse desde diferentes perspectivas: "el recurso natural más valioso de un país" (FAO, 1984b); "subsistema de los ecosistemas terrestres" (Richards, 1974) o "material superficial de la Tierra que es capaz de sustentar la vida" (Davies et al., 1973); esta última consideración es acaso la más pertinente desde el punto de vista biológico, Papadakis (1975) lo define como una fina capa que cubre la superficie continental de la Tierra y sirve como sustrato de la vida vegetal, animal y humana.

No toda la corteza terrestre está cubierta de suelo pero ahí donde se presente comprende desde la superficie hacia abajo, limitado por la acción de los organismos que lo componen. En efecto el suelo en sí mismo comprende un ecosistema complejo cuyos componentes abióticos: fracción mineral, materia orgánica, humedad y atmósfera, interactúan sirviendo de habitat a un complejo y numeroso grupo de organismos (Richards, 1974).

Edwards (1975) calcula que un metro cuadrado de suelo rico puede contener más de mil millones de organismos y por ello Strahler y Strahler (1979) lo llaman "el corazón de la capa viviente sobre los continentes" y su aseveración no es exagerada, ya que el suelo es el depósito natural en tierra de los nutrientes y la base de soporte de la producción vegetal autótrofa sobre la que se sustenta gran parte de la vida animal y humana. Los suelos se diferencian en la abundancia de diferentes nutrientes que contienen, generalmente como -

producto del intemperismo de la roca madre que los origina; en el tamaño de las partículas de que están formados, lo que influye en su drenaje y retención de nutrientes y en la forma en que se encuentra presente la materia orgánica (bien mezclada o estratificada en la superficie). Desde el punto de vista de las plantas la sobrevivencia significa la habilidad para crecer y compatir con buen éxito bajo las condiciones prevalentes del clima y el suelo, por ello es que las condiciones del suelo son muy importantes para determinar la cubierta vegetal que sustente (Cox et al., 1976).

El suelo debe verse como una capa dinámica en la que se realizan constantemente muchas y complejas actividades químicas, físicas y biológicas; el suelo determina los organismos que en él se encuentran pero a su vez los organismos modifican el suelo, y éste modificado puede sustentar una población diferente de organismos, así podemos decir que el suelo es un cuerpo cambiante que se ajusta a las condiciones del clima, la topografía y la vegetación (Davies, 1973).

Esta es la razón por la que los suelos son parte clave de los ecosistemas terrestres, muchos de sus procesos críticos o esenciales ocurren en él (Pianka, 1974).

En el suelo se produce la descomposición de la materia orgánica y es ahí en donde son retenidos para su reciclaje los nutrientes esenciales a las plantas, base trófica de toda comunidad terrestre.

Existen diferentes clasificaciones de los suelos, El Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos junto con científicos de otras naciones han desarrollado un sistema de clasificación que consiste de seis categorías o niveles, el primero consiste de diez órdenes, el segundo de 47 subórdenes y el tercer nivel consiste ya de grandes grupos formados por 185 suelos diferentes (Strahler y Strahler, 1979).

Un sistema menos complejo pero comprensivo clasifica a los suelos en tres grandes grupos:

- suelos zonales, -se desarrollan bajo condiciones de buen drenaje del suelo, son los tipos de suelo más ampliamente distribuidos
- suelos intrazonales.-formados bajo condiciones de drenaje pobre, como los suelos de ciénagas
- suelos azonales.-son aquellos que no se pueden clasificar fácilmente ya sea porque son muy jóvenes o porque han sido incapaces de desarrollar un perfil (conjunto de diferentes capas u horizontes que forman el suelo)

Los suelos zonales a su vez se dividen en dos grandes grupos, pedalfers (llamados así por su acumulación de sales de aluminio y fierro) y pedocales (acumulan carbonato de calcio); los pedalfers se subdividen en :

podzoles.- caracterizados por una intensa filtración, se encuentran en zonas templadas de climas húmedos en donde la precipitación excede la evaporación, son característicos de bosques de coníferas.

podzoles gris-café.- conocidos también como suelos café de bosques, característicos de bosques caducifolios templados; estos podzoles son muy fértiles y forman tierras de cultivo altamente productivas cuando se talan los bosques que sustentan para su conversión a campos agrícolas

podzoles rojos y amarillos.- se presentan en climas cálidos de lluvias abundantes, el contenido de humus es bajo en ambos tipos

latosoles.- se forman en regiones tropicales y subtropicales de fuertes lluvias y altas temperaturas, el humus prácticamente no está presente debido a la rápida acción de los descomponedores, la baja acidez producida por la

descomposición disuelve los silicatos removiéndolos, lo que añadido a la acumulación de fierro y aluminio se conoce como laterización, los óxidos acumulados en capas se conocen como lateritas, son suelos muy infértiles incapaces de una actividad agrícola sostenida.

suelos de pradera.- transicionales entre pedalfer y pedocales, la vegetación típica está representada por altos pastos.

Los pedocales se subdividen en:

chernozems o suelos negros.- se desarrollan típicamente en áreas de pastos, se presenta intemperismo debido a los fríos inviernos y veranos cálidos pero no se alcanza a presentar un excesivo filtrado de nutrientes, debido a ello estos suelos son extremadamente fértiles.

chestnut o suelos cafés.- se desarrollan en regiones semiáridas usualmente bajo pastos cortos y son fértiles cuando disponen de humedad, ya sea por lluvias o irrigación.

sierozems.- suelos de regiones desérticas muy bajos en materia orgánica debido a la escasa vegetación presente, sufren salinización debido a la formación de carbonato y sulfato de calcio en la superficie, para cultivarlos se requiere de una amplia irrigación, la que a su vez puede originar otros problemas.

Los suelos intrazonales se desarrollan en áreas en donde el drenaje es muy pobre, hay cuatro tipos principales;

suelos de tundra.- formados en áreas en donde la temperatura y la precipitación son bajas y la estación de crecimiento corta, no obstante presentan una gran cantidad de humus debido a la baja tasa de descomposición.

suelos de pradera.- se forman como resultado del desbordamiento de ríos en zonas bajas, el drenaje es muy pobre debido a estas inundaciones anuales, las que a la vez



depositan una capa de lodo y cieno y se forma un horizonte superficial delgado, oscuro, rico en humus.

suelos de ciénagas o pantanos.- se forman en estos -- ecosistemas en donde el contenido de agua es muy elevado saturando el suelo la mayor parte del año, ello retarda la descomposición vegetal y el humus tiende a ser muy ácido, debido a ello y a la condición pantanosa estos suelos no son muy útiles para propósitos -- agrícolas.

suelos salinos.- existen en áreas en donde la evaporación excede con mucho a la precipitación, en los horizontes superficiales del suelo se acumulan sales solubles de sodio, potasio, magnesio y calcio, las que son llevadas hacia arriba por capilaridad y permanecen en la superficie al evaporarse el agua; y aunque la vegetación es poco densa, en ellos se pueden obtener cultivos disminuyendo la concentración de sales y proveyendo drenaje.

Los suelos azonales no han desarrollado perfil debido a que algunos son muy jóvenes y no han tenido aún suficiente tiempo para sufrir el intemperismo y otros procesos de formación, otros ocurren en áreas en donde se depositan continuamente materiales y comprenden : suelos de montaña, marinos, volcánicos, glaciales y dunas de arena (Davies et al., 1973)

La característica mas relevante del suelo desde el punto de vista humano - independientemente del tipo de que se trate - se refiere a la fertilidad o infertilidad del mismo, ya que la mayor parte de los suelos que el hombre utiliza han sido transformados por su acción en campos de cultivo. La fertilidad del suelo depende de la acción de los organismos presentes, el intemperismo de la roca por sí mismo no produce suelo (Richards, 1974), es necesario conjugar ambos factores para tener un suelo fértil.

Los organismos mantienen y pueden mejorar la fertilidad del suelo al descomponer tejidos vegetales y animales, durante el proceso los nutrientes liberados se incorporan al suelo, su flora y fauna desintegran los tejidos vegetales hasta formar un complejo orgánico finamente dividido llamado humus, cuya composición exacta es desconocida pero probablemente contiene una pequeña proporción de sustancias orgánicas solubles en agua, muchos compuestos fenólicos, algunos fosfatos orgánicos y una sustancia poliuronide que contiene azúcares complejos; consiste aproximadamente de 60% de carbono, 6% de nitrógeno y otros elementos (Edwards, 1975).

El suelo comprende una comunidad compleja de organismos pero podemos clasificarlos de acuerdo a su tamaño en:

microbiota: algas, bacterias, hongos y protozoarios

mesobiota: nemátodos, colémbola, pequeños artrópodos y gusanos enquiátreidos

macrobiota: gusanos de tierra, moluscos, grandes enquiátreidos y artrópodos. (Richards, 1974).

Cada uno de estos grupos desempeña un papel particular específico en el ecosistema, no obstante debemos destacar por su importancia el realizado por la microbiota. Las funciones más importantes de los microorganismos en el suelo son: desintegrar la materia orgánica de plantas y animales y ayudar a convertirla en forma tal que las plantas la puedan usar nuevamente. Los microorganismos heterótrofos del suelo, que derivan su carbono y energía de la materia orgánica, están relacionados principalmente con su descomposición, el ciclo del carbono y la fijación del nitrógeno.

Los microorganismos autótrofos, que obtienen su carbono del dióxido de carbono y su energía de la oxidación de compuestos orgánicos simples, forman nitritos y nitratos y oxidan los --

compuestos de fierro y azufre. La mayor parte de los micro organismos producen dióxido de carbono el que se disuelve - en el agua del suelo para formar el débil ácido carbónico, - que a su vez disuelve minerales relativamente insolubles - del suelo los que así quedan disponibles como nutrientes pa ra las plantas ( Edwards, 1975).

Cuando las condiciones del suelo no son apropiadas para que estos procesos tengan lugar, los suelos resultantes pue den no ser aptos para la agricultura; además del papel de - los organismos, hay otros factores ambientales que determi - nan la formación del suelo:

- clima , regímenes pluviométricos y temperatura
- drenaje y topografía que influyen respectivamente en el filtrado y la erosión
- roca madre, la que a través del intemperismo determinará en gran forma el tipo de suelo que se forma
- tiempo, la edad del suelo tiene gran influencia sobre sus propiedades (Papadakis, 1975).

Todos estos factores son interdependientes y sus relaciones pueden cambiar a través del tiempo por lo que no es posible asignar niveles de prioridad en la formación y manteni -- miento del suelo, lo que sí nos debe quedar claro es que la - modificación de uno o más de estos factores tendrá repercusio -- nes importantes en el suelo y su explotación en agricultura, ganadería y silvicultura por el hombre.

Actualmente sólo el 11% de las tierras emergidas del planeta (excluyendo a la Antártida) pueden usarse sin limitaciones importantes para la agricultura (UICN, 1980). El resto - padece: de la sequía (28%), que es el factor limitante que domina tanto a nivel regional como global; problemas minerales (23%), ya sea por deficiencia o exceso que produce toxicidad; poca profundidad (22%); exceso de agua (10%) y permafrost - (6%), ( FAO, 1979; Clarke y Palmer, 1983).

### Degradación y pérdida de suelos

De tal manera que actualmente las tierras cultivables cubren unos 1,400 millones de hectáreas y aún si fuera posible doblar esa superficie ya se cultiva buena parte de los mejores suelos ( UICN, 1980), la FAO (1984b) calcula que con el paso de los siglos el hombre ha destruido 2,000 millones de hectáreas de tierras y en la actualidad se pierden millones más anualmente debido a su degradación . Entendemos por degradación del suelo la deterioración o pérdida total de su capacidad productiva para uso presente y futuro.

La degradación tiene muchas causas, pero aquellas que nos preocupan de inmediato son: uso inapropiado: compactación, erosión: hídrica y eólica, salinización y alcalinización, encharcamiento y degradación química ( FAO, 1984b); y por supuesto su conversión para usos no agrícolas, la desertificación y otros.

Cada año se pierden por erosión en promedio c. 24,000 millones de TM de suelo cultivable (PNUMA, 1985; Brown - et al., 1985), y esto tiene serias implicaciones para el hombre si consideramos que la formación de suelos nuevos es extremadamente lenta en condiciones naturales, en presencia de una cubierta vegetal la naturaleza toma de 100 a 400 años para formar un centímetro de suelo y de 3,000 a 12,000 años para producir suficiente suelo en un área para desarrollar producción agrícola ( UICN, 1980); es decir, que para el hombre actual e incluso para decenas de generaciones por venir la pérdida de suelos es irremediable.

De hecho se están perdiendo anualmente por degradación 6 millones de hectáreas ( FAO, 1984b) y hacia fines de siglo se calcula que se perderán anualmente 10 millones de hectáreas (El-Hinnawi y Hashmi, 1982).

Hudson en 1968 estimó que la masa de material erosionado movida anualmente por los ríos al océano "antes de la intervención del hombre" era de c. 9,300 millones de TM/año. Esa tasa se calcula actualmente, como ya hemos dicho, en 24,000 millones de TM/año lo que significa que el hombre ha incrementado la tasa de erosión en 250% (Holdgate et al., 1982).

De continuar estas tendencias aproximadamente el 20% de las tierras de temporal de los países en desarrollo podrían transformarse en pastos degradados y otras zonas llegarían a ser menos productivas; se estima que en los países de Africa, situados al norte del ecuador, el 35% de la tierra está afectada por la erosión del viento o el agua, o por la salinización y esta proporción llega al 65% en Asia occidental ( Banco Mundial, 1984; PNUMA, 1985).

Más de la mitad de la India padece de alguna forma de degradación del suelo, de una superficie total de 3.3 millones de  $\text{Km}^2$  c. 1.4 millones pierden poco a poco sus suelos, mientras que otros 270,000  $\text{Km}^2$  se degradan debido a las inundaciones, a la salinidad y a la alcalinidad. En un estudio realizado en 800 mil  $\text{Km}^2$  se estima la pérdida anual de suelos en 6,000 millones de TM, con este volumen se pierden 6 millones de TM de nutrientes o sea más que el volumen de los insumos de fertilizantes utilizados ( UICN, 1980). En los Estados Unidos, de acuerdo con una investigación llevada a cabo en 1975 por el Servicio de Conservación de Suelos, se indicó que se estaban perdiendo 3,000 millones de TM de suelos de tierras agrícolas, un promedio de 22 TM/ha (Brown, 1979). Asimismo se pierden o redistribuyen cada año 50 millones de TM de nutrientes vegetales que deben ser reemplazados por fertilizantes (Clarke y Palmer, 1983).

Según el PNUMA (1982b) entre un 30 a un 80% de toda la tierra sometida al riego se ha visto afectada por la salinización, la alcalinización y la sobresaturación con agua; se cree que sales y exceso de agua afectan gravemente entre 20 y 30 millones de hectáreas de las mejores tierras del mundo cada año.

El análisis particular de las principales causas de la degradación del suelo nos puede dar una idea más objetiva e integrada del problema, y comprender sus alcances y el origen común de la perturbación.

La erosión se refiere a la pérdida del suelo mediante ya sea la acción del viento (erosión eólica) o del agua (erosión hídrica). Se pueden distinguir dos clases de erosión: la natural, y aquella influida o producida por el hombre. La erosión que tiene lugar bajo condiciones naturales, es decir cuando la tierra superficial y la cubierta de vegetación nativa no han sido perturbadas por la actividad humana, es llamada erosión natural o geológica. Por otra parte cuando se talan los bosques o se destruyen los pastizales se aceleran los procesos de erosión y tenemos entonces una erosión artificial o antropogénica.

Las tasas actuales de erosión están fuertemente influidas por el hombre, ya no podemos decir que sean naturales.

La erosión del suelo se produce principalmente cuando la tierra está expuesta a la acción del viento y de la lluvia, sin la protección de una capa de vegetación y de la acción fijadora de las raíces cada gota de lluvia que cae golpea como una bala sobre el suelo desnudo (FAO, 1984b); las partículas del suelo se desprenden y son arrastradas. La erosión hídrica es la forma más común de erosión y causa daños masivos en casi todos los países en desarrollo, se produce cuando se cultivan tierras escarpadas, como las laderas

de los Himalaya, sin tomar las debidas precauciones, o - cuando se dejan expuestas a las lluvias intensas, tierras con pendientes suaves. La forma de erosión más insidiosa es la erosión laminar, que se produce cuando la totalidad de la superficie del terreno se erosiona gradualmente de manera mas o menos uniforme. Este proceso es insidioso - dado que la pérdida de tierra no se advierte de inmediato, el único indicio aparente de la erosión laminar. lo constituye la parte inferior de postes y cercas y las raíces de árboles y cultivos que van quedando cada vez más al descubierto. Cuando el agricultor advierte estos indicios es probable que haya perdido ya decenas de toneladas de suelo por hectárea. En un terreno normal un agricultor que pierde 1.5 centímetros de capa arable - apenas lo suficiente como para ser advertido- habrá perdido ya c. 190 TM de suelo por hectárea ( FAO,1984b).

La erosión en surcos puede producirse en terrenos escarpados o con pendientes más suaves; como en un terreno hay siempre irregularidades, el agua encuentra depresiones donde depositarse y hendiduras por donde correr. Al ser arrastrado el suelo de esas hendiduras se forman pequeños surcos o cárcavas, cuya presencia no siempre es evidente porque el arado o la grada los cubren de nuevo. Los surcos pueden -- convertirse en cárcavas pero aún sin eso las pérdidas de - suelo que provocan son importantes.

En terrenos escarpados existe a menudo el peligro de la formación de cárcavas, el agua que corre por la pendiente - abre una hendidura profunda en el suelo, cuando la pendiente es empinada en el extremo inferior se forma un escalón que gradualmente va avanzando cuesta arriba y ahonda y ensancha la cicatriz abierta por la cárcava en la ladera.

Lo que comenzó siendo un hilo de agua que discurría por un sendero utilizado por hombres o animales, puede convertirse en una grieta de decenas de metros de profundidad y cientos de metros de anchura. En la India, la erosión en cárcavas causa la pérdida de unas 8,000 hectáreas de tierra por año (FAO, 1984b). Este tipo de erosión está relacionado con la de las riberas de los ríos en la cual los ríos y arroyos de curso rápido van socavando sus propias riberas.

La erosión hídrica causa dos tipos de problema: una pérdida de productividad in situ y el arrastre del suelo - aguas abajo; el depósito de los minerales transportados en campos, riachuelos, lechos de corrientes, planicies y finalmente el fondo del mar es llamada sedimentación e incluye también la precipitación química de componentes disueltos, así como el depósito de restos de plantas y animales, por no hablar de la biota misma del suelo que se pierde y que generalmente no recibe gran consideración, no obstante, el impacto biológico sobre la comunidad de estos suelos es muy grande y puede llevar a la extinción de los organismos y por lo tanto de la productividad del terreno sujeto a la erosión, la que afecta tanto suelos de bosques como campos de cultivo.

La sedimentación también puede provocar problemas ambientales a través de los cambios que introduce en los ecosistemas acuáticos continentales y reduce la capacidad de las presas, en algunas regiones las presas y los lagos se están llenando por este medio a una tasa alarmante. La presa de Achicaya en Colombia perdió casi el 25% de su capacidad de almacenamiento, a través del depósito de cieno, veintiún meses después de su inauguración en 1955 y en 10 años estaba llena a tres cuartos de su capacidad; la presa de Tarbela en Pakistán, completada en 1975 a un costo de 1,200 millones de dólares, se espera que tenga una vida promedio de no más de 50 años debido al cieno que se deposita proveniente de los Himalaya talados y erosionados (El-Hinnawi y Hashmi, 1982).



La represa de Nizamsagar en la India, de casi 900 millones de  $m^3$ , ha visto disminuida su capacidad en 62%, a menos de 340 millones de  $m^3$ , y actualmente ya no hay suficiente agua para irrigar los 1,100  $Km^2$  de cañaverales y arrozales para los que fue construida, y por ende no hay ya suficiente caña para el suministro de los ingenios locales. La deforestación en el norte de la isla de Luzon, en las Filipinas, ha entarquinado la represa de Ambuklao con tanta rapidez que su vida útil disminuyó de 60 a 32 años. Tales problemas no se limitan a los países en desarrollo, por ejemplo, se estima que más de 1,000 millones de  $m^3$  de sedimentos se depositan cada año en los principales reservorios de los Estados Unidos (UICN, 1980).

La carga de sedimentos del río Citarum, en Java, cuya -- cuenca ha sido enormemente erosionada a través del cultivo excesivo, se ha incrementado en tres años (Eckholm, 1977), y en las colinas orientales de Nepal 38% del área consiste de campos que han tenido que ser abandonados debido a la erosión del suelo; mientras que río abajo en las planicies del Terai nepalés el mismo suelo erosionado río arriba eleva - el lecho de 15 a 30 cms/año (El-Hinnawi y Hashmi, 1982).

Sólo el 10% de la población de la Tierra vive en las montañas, pero un 40% vive en las llanuras adyacentes; de tal manera que la mitad de la humanidad depende para su vida y subsistencia del manejo de los ecosistemas en las cuencas superiores de los ríos, es decir, depende de que tan a tiempo y en qué medida se detenga la devastación de los bosques proectores de las cuencas de drenaje (UICN, 1980); la conclusión es obvia, la mejor protección en contra de la erosión y las inundaciones es la cubierta vegetal (UNEP, 1974).

La erosión eólica, una de las causas principales de la desertificación, afecta a vastas zonas del mundo, se produce

cuando el suelo pierde la vegetación y es particularmente aguda en las zonas áridas y semiáridas. cuando el número de reses y el pastoreo son excesivos. En estas zonas el suelo se reseca y, debido a que son lo suficientemente -- llanas, los vientos ejercen su acción destructora de manera continua; una vez comenzada la erosión las partículas de suelo en movimiento aceleran el proceso, a causa de su acción abrasiva sobre lo que de otro modo podría haber sido una superficie de suelo estable.

Según un estudio FAO-PNUMA sobre la degradación del -- suelo, el 22.4% de la superficie de Africa al norte del -- ecuador, el 35.5% del Cercano Oriente y el 16.8% de la India están afectados por la erosión eólica, y vastas zonas de Norteamérica, la URSS, Australia, Africa y Asia están -- amenazadas debido a su susceptibilidad (FAO, 1984b).

El viento además de despojar a las tierras de la capa arable, causa otros daños sepultando campos, edificios y maquinaria. En el peor de los casos, una hectárea de terreno puede perder hasta 150 TM de suelo en una hora -- (FAO, 1984b).

En los años treinta la erosión eólica creó en las Grandes Llanuras de los Estados Unidos enormes acumulaciones de polvo inutilizando millones de hectáreas de tierras. En mayo de 1934 una tormenta de cuatro días transportó 350 millones de TM de suelo a 2,500 Km de distancia, oscureciendo el cielo de Nueva York durante horas y cubriendo de -- barro las cubiertas de barcos que se encontraban a cientos de kilómetros de la costa atlántica (Eckholm, 1977).

En ambos casos el problema básico es la pérdida del suelo, de la biota que lo forma y mantiene y de los organismos asociados, mueren plantas y animales y un inmenso número de

diferentes microorganismos, tanto en los bosques talados - en las zonas montañosas como en el suelo que se desprende, y en los ríos y lagos a donde se deposita ; el impacto biológico es muy amplio y abarca toda la gama de organismos incluyendo al hombre que lo genera. Las precipitaciones - abundantes, las sequías prolongadas o los vientos fuertes pueden ser la causa directa de la erosión del suelo, pero no son el verdadero problema.

Una zona en estado natural, o correctamente cultivada, puede permanecer estable bajo la acción de todos esos fenómenos. La erosión se produce cuando se utilizan prácticas agrícolas que no tienen en cuenta la facilidad con que el suelo puede ser arrastrado por el agua o barrido por el viento, entre ellas:

- ganadería y pastoreo excesivo
- compactación de charcas en zonas áridas
- arado profundo de la tierra dos o tres veces por año para producir cultivos anuales
- falta de rotación
- disociación de actividades agrícolas y pecuarias
- siembra perpendicular, y no transversal, a las curvas de nivel.

Donde no existe intervención humana la erosión de los suelos es en general extremadamente lenta, la erosión rápida frecuente en muchos países en desarrollo se debe al uso de modalidades de aprovechamiento del suelo y de técnicas agrícolas, que no corresponden a las tierras en donde se aplican (FAO - 1984b).

La salinización es la acumulación de sales en grado tal que tienen un efecto deletéreo sobre la productividad del -

suelo y el rendimiento de los cultivos, mientras que la alcalinización se refiere a una elevada saturación del suelo con sodio, lo que también disminuye la productividad de la capa arable. Se presenta cuando se riegan tierras mal drenadas, las sales se acumulan porque el agua se mueve hacia arriba en el suelo desde la capa freática debido a una acción capilar, como consecuencia de la evaporación del agua superficial por el Sol se deposita el contenido de sales del agua en la superficie, al mismo tiempo, merced al drenaje insuficiente, aumenta el nivel de la capa freática y el agua salada entra en contacto con las raíces. Los problemas de salinidad se acompañan con frecuencia de problemas de anegamiento debido a la irrigación de suelos mal drenados; otra vía para salinizar los suelos es a través del agua de riego. A mediados de los años setenta la FAO estimó que estaban afectadas por la sal 952 millones de hectáreas de tierras y se calcula que a nivel mundial, de un total de 200 millones de hectáreas regadas, el 20% unos 40 millones de hectáreas están anegadas o afectadas por la sal, o sufren de ambos problemas ( FAO, 1984b).

Un estudio realizado en el Punjab mostró que la filtración de canales no recubiertos elevó el nivel freático de 7 a 9 metros por encima de su nivel original en los primeros años de operación. En Pakistán, a principios de los sesenta, el 22% de todas las tierras irrigadas estaban seriamente dañadas por anegamiento y por salinidad, la cifra para la India en 1972 era de 15% (Eckholm, 1977). Otras zonas importantes del mundo que sufren salinización son:

El valle Helmut en Afganistán, el valle Imperial y la cuenca del río Colorado en Estados Unidos, el valle de Mexicali en el norte de México y las cuencas de los ríos Éufrates y Tigris en Siria e Iraq.

A una escala global se estima que cada año se pierden - por salinización y anegamiento de 200 a 300,000 hectáreas de tierras irrigadas, una superficie equivalente a Luxemburgo (El-Hinnawi y Hashmi, 1982). El daño directo que pueden causar a las plantas las diversas sales en el agua de irrigación se presenta a través de dos canales principales:

- efectos osmóticos provocados por la concentración total de materiales en solución
- efectos de iones específicos causados por la toxicidad de iones particulares.

Los efectos osmóticos son generalmente resultado de diversas influencias específicas: primero, se reduce el gradiente de potencial osmótico del suelo a la planta y se disminuye por lo tanto la tasa a la que la planta toma el agua del suelo; en segundo lugar, se modifican las tasas de producción relativa de hormonas en el sistema radicular y los brotes. Con una salinidad elevada en el suelo se inhibe la producción de citoquinona, una hormona que es producida en la raíz y transportada a la hoja en donde estimula la transpiración y promueve la síntesis de proteínas; el ácido abscísico, que inhibe la transpiración y se produce en las hojas en condiciones de stress por falta de agua, tiende a acumularse en condiciones de elevada salinidad; altas concentraciones de solutos (sales) en los tejidos vegetales provocadas por una alta salinidad del suelo pueden interferir con la función normal de cloroplastos y mitocondrias produciendo en general efectos que reducen la fotosíntesis mientras incrementan la respiración (Cox y Atkins, 1979).

La sensibilidad de las especies vegetales a la salinidad del suelo varía ampliamente: diversos pastos, gramíneas y algunas otras especies como el betabel, el algodón y el girasol tienen una tolerancia relativamente alta a la salinidad (organismos eurihalinos), mientras que la mayor parte de los vege-

tales de zonas templadas y ciertos granos como el maíz y el arroz tienen una tolerancia mucho menor (organismos esteno halinos).

Los efectos deletéreos de iones específicos presentes en el agua de riego pueden ser mayores que lo esperado debido a su concentración total, estos efectos son especialmente dañinos para muchas especies de hortalizas. El boro, un micronutriente requerido por las plantas y sobre el cual se han hecho amplios estudios en torno a su papel en el transporte de carbohidratos (Devlin, 1975), es uno de los iones que típicamente muestran toxicidad incluso a bajos niveles (algunas ppm en solución en el suelo); otros iones comprenden: sodio, cloro, sulfatos, ácido carbónico y magnesio, afectando principalmente a los frutales (Cox y Atkins, 1979).

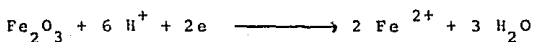
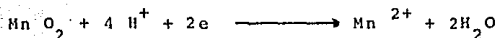
En cuanto al anegamiento, el suelo sufre cambios drásticos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas cuando se satura de agua. El oxígeno en un suelo tal es usado rápidamente por la respiración de los microorganismos que degradan la materia orgánica, en suelos anegados se rompen los enlaces que mantienen juntas las partículas coloidales del suelo lo que provoca una desorganización de su estructura; por ello el exceso de agua en tales suelos es perjudicial para el crecimiento de las plantas, y el suelo no contiene el aire requerido por la mayor parte de las raíces; la mayoría de los cultivos útiles al hombre - con la notable excepción del arroz - no pueden crecer en suelos anegados.

Uno de los efectos químicos más marcados del anegamiento es una reducción de la actividad electrónica ( $pE^*$ ) por la acción de agentes orgánicos reductores que actúan a través de la catálisis bacteriana, por lo tanto la condición redox (redox reductora) del suelo se vuelve mucho más reductora y el

---

\*  $pE = -\log (a_{e^-})$  en donde  $a_{e^-}$  es la actividad del electrón en solución acuosa.

pE del suelo puede caer desde aquél del agua en equilibrio con el aire (+ 13.6 a pH 7) a uno o menos. Uno de los resultados más significativos de este cambio es la movilización de fierro y magnesio como elementos solubles a través de la reducción de sus óxidos insolubles :



estos iones  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  son tóxicos para algunas plantas a ciertas concentraciones ( Mahahan, 1984).

La degradación química de los suelos ocurre cuando no se reabastece al suelo de nutrientes y éste pierde su fertilidad, los principales nutrientes vegetales se dividen en dos grupos:

- macronutrientes, son aquellos elementos que se presentan en niveles sustanciales en los materiales -- estructurales o en los fluidos de las plantas.
- micronutrientes, elementos que son esenciales a muy bajos niveles y generalmente son requeridos para el funcionamiento de ciertas enzimas.

Los elementos químicos reconocidos generalmente como macronutrientes para las plantas son: C,H,O,N,P,K,Ca,Mg y S; de éstos el carbono, hidrógeno y oxígeno son obtenidos de la atmósfera y el agua, mientras que el nitrógeno puede ser obtenido a través de la acción de las bacterias fijadoras o bien indirectamente de la atmósfera. Los otros macronutrientes esenciales deben ser obtenidos del suelo; el nitrógeno, fósforo y potasio son generalmente escasos y deben ser añadidos por el hombre en forma de fertilizantes.

El nitrógeno, denominado "azote" (sin vida) por el químico francés A. L. Lavoissier, es un constituyente esencial de las proteínas y por ende para toda forma de vida en el planeta, es excesivamente abundante en la atmósfera de la Tierra (cerca 80%) y escaso en el suelo, esta aparente paradoja se debe al hecho de que el gas nitrógeno en la atmósfera es tan inerte químicamente hablando que resulta inútil para la mayoría de los organismos.

Sólo puede entrar a los sistemas biológicos cuando se combina o fija con otros elementos como el hidrógeno y el oxígeno, esta fijación en la naturaleza está reservada sólo a algunos géneros de bacterias y de algas verdeazules: Azotobacter vinelandii, Clostridium pasteurianum, Klebsiella pneumoniae, Rhodospirillum rubrum, de vida libre y : Citrobacter freundii, Frankia alni, Nostoc muscorum, Anabaena azollae, Rhizobium japonicum, R. trifolii y R. meliloti, simbioses, entre otros (Brill, 1977).

Las formas de nitrógeno disponibles para las plantas pueden dividirse en cuatro grupos: nitrógeno de los nitratos, nitrógeno del amoníaco, nitrógeno orgánico y nitrógeno molecular. Aunque la mayoría de las plantas utilizan el nitrógeno del nitrato, diversas plantas pueden asimilar amoníaco y ciertas formas de nitrógeno orgánico e incluso la lista de plantas capaces de utilizar nitrógeno molecular crece día con día (Devlin, 1975).

En la mayoría de los suelos más del 90% del nitrógeno contenido es orgánico, producto primario de la biodegradación de plantas y animales muertos, eventualmente es hidrolizado a ión amoníaco el que puede ser oxidado a ión nitrato por la acción bacteriana, la discusión amplia del proceso se puede consultar en Devlin (1975), Brill (1977) o Manahan (1984).



Las plantas pueden absorber cantidades excesivas de nitrógeno del suelo, fenómeno que ocurre particularmente en suelos fuertemente fertilizados por el hombre ya sea por abono orgánicos o fertilizantes industriales, esta toma en exceso se presenta generalmente en condiciones de sequía.

Las fuentes artificiales de nitrógeno comprenden hoy en día del 30 al 40% de todo el nitrógeno fijado e incluyen: la producción química de fertilizantes, el nitrógeno fijado durante la combustión de combustibles fósiles, la combustión de combustibles que contienen nitrógeno y el creciente cultivo de las leguminosas, las que pueden añadir al suelo 102 Kg de nitrógeno/ha/año cifra comparable a las cantidades comúnmente usadas de fertilizantes sintéticos.

Una de las grandes preocupaciones ecológicas de hoy día lo constituyen los intentos de incrementar la fijación del nitrógeno ya que ello puede alterar su balance global. Se estima que en 1974 esta fijación fue de 237 millones de TM en comparación con 174 millones de TM para 1950 y c. 150 millones de TM en 1850. La acumulación potencial del exceso de nitrógeno fijado es sujeto de gran preocupación debido a la contaminación acuática por nitrato y a la producción microbiana del óxido nitroso, el que al parecer coadyuva a la destrucción de la capa de ozono (Manahan, 1984).

Aunque el porcentaje de fósforo en las plantas es relativamente bajo, es un componente esencial y como el nitrógeno debe presentarse en forma inorgánica simple en el suelo antes de ser tomado por las plantas; en el caso del fósforo la forma utilizable es el ión ortofosfato. En el intervalo de pH de la mayor parte de los suelos, las especies predominantes de ortofosfatos son:  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ . El ortofosfato es más accesible para las plantas a valores de pH cerca de la neutralidad, por lo que en suelos relativamente ácidos estos iones

son precipitados por especies de Al (III) y Fe (III), mientras que en suelos alcalinos el ortofosfato puede reaccionar con el carbonato de calcio de las calcitas formando - hidroxapatitas que son relativamente insolubles (Manahan, 1984) de ahí la importancia de evitar la perturbación química del suelo mediante la contaminación .

Las plantas en crecimiento utilizan niveles relativamente altos de potasio ya que este elemento activa algunas enzimas y juega un papel importante en el balance hídrico - de las plantas, es esencial también en algunas transformaciones de carbohidratos; su deficiencia afecta diversos procesos como la respiración, fotosíntesis y el desarrollo clorofílico (Devlin, 1975). El potasio es removido del suelo al aumentar la productividad de los cultivos gracias al uso de fertilizantes nitrogenados, los que refuerzan la remoción del potasio, debido a ello este elemento se puede convertir en un nutrimento limitante en aquellos suelos fuertemente fertilizados con otros nutrientes, esta es una de las razones por las que el uso de fertilizantes químicos sintéticos debe seguir a un estudio previo de los contenidos minerales del suelo y en ningún caso deben añadirse los fertilizantes de manera indiscriminada ya que puede provocarse -enriqueciéndolo- una degradación química del suelo.

Los suelos deficientes en calcio son poco comunes, no obstante, la toma de calcio por las plantas y su pérdida debido a la presencia de dióxido de carbono en el suelo pueden producir su deficiencia. Los suelos ácidos pueden contener aun un nivel apreciable de calcio, pero debido a la competencia por el ión hidrógeno no está disponible para las plantas. En suelos alcalinos la presencia de niveles elevados de sodio, magnesio y potasio produce en ocasiones deficiencia de calcio, debido a que aquellos iones compiten con éste en su disponibilidad

para las plantas, al igual que con el fósforo el impacto biológico de la lluvia ácida sobre este elemento suele ser relevante para la comunidad.

Aunque el magnesio forma el 2.1% de la corteza de la Tierra la mayor parte está ligado fuertemente en minerales; la disponibilidad de magnesio para las plantas depende de la relación Ca/Mg, si ésta es muy elevada el magnesio puede no estar disponible y se presentan deficiencias, asimismo éstas se pueden dar en presencia de niveles excesivos de potasio o sodio.

El azufre es asimilado por las plantas como ión sulfato, además, en áreas donde se presenta depósito seco de contaminantes, el azufre puede ser absorbido por las hojas de las plantas en forma de dióxido de azufre, de su toxicidad ya hemos hablado, no obstante, los experimentos llevados a cabo para demostrar esta toxicidad resultaron en un incremento en el crecimiento de las plantas (Manahan, 1984). Los suelos pobres en azufre no sustentan bien el desarrollo vegetal, debido principalmente a que este elemento es un componente de algunos aminoácidos esenciales y de la tiamina y biotina. El ión sulfato está generalmente presente en el suelo como sulfato insoluble en minerales o como sales solubles, las que son rápidamente filtradas del suelo por escurrimiento; a diferencia de otros cationes nutrientes como el potasio, el sulfato se adsorbe (retenido por enlaces de intercambio iónico) poco al suelo lo que influye en su disponibilidad. Los microorganismos pueden mediar reacciones con la materia orgánica para producir sulfuro de hidrógeno por reducción del ión sulfato, el que es muy tóxico para las plantas y mata muchos microorganismos benéficos; esta reacción puede ser común en suelos anegados (Manahan, 1984).

En cuanto a micronutrientes o elementos traza considerados como esenciales para las plantas tenemos: boro, cloro, cobalto, cromo, cobre, flúor, fierro, iodo, manganeso, molibdeno (por su participación en la fijación del nitrógeno), sodio, -

selenio, silicio, estaño, vanadio y zinc ( Fyfe y Kronberg, 1980); las plantas los requieren en muy baja proporción y - son tóxicos frecuentemente a elevadas concentraciones, la mayoría funcionan como componentes de enzimas esenciales; - el manganeso, fierro, cloro, zinc y vanadio pueden estar implicados en la fotosíntesis. Algunas plantas acumulan niveles extremadamente altos de metales traza específicos, aquellas que acumulan más de 1 mg/gr de peso seco son llamadas hiperacumuladores, aeolanthus biformifolius De Wild, crece en la provincia de Shoba en Zaire, región rica en yacimientos de cobre, la planta acumula hasta 1.3% de cobre de su peso - seco y es conocida como " flor de cobre"(Manahan, 1984). No obstante, esta es la excepción y no la regla, cuando por alguna razón uno o más de los micronutrientes se acumulan en el suelo, la vegetación se intoxica y muere, tal y como ocurre en - zonas mineras y alrededor de siderúrgicas y otras plantas de tratamiento de metales. Leeper, 1947; Wiklander, 1958; Amin y Johans, 1953; Stiles, 1958; Broyer et al., 1954; Boul, 1963 y otros han realizado amplios y cuidadosos estudios sobre los micronutrientes, su relación, absorción, funciones, deficiencias y toxicidad en las plantas ( Devlin, 1975).

Los fertilizantes químicos contienen normalmente nitrógeno, fósforo y potasio como constituyentes principales, se les pueden añadir magnesio, sulfato y micronutrientes para casos en que ello se requiera. El consumo de estos fertilizantes - aumentó notablemente a partir de los setenta :

	1970	1981
fertilizantes nitrogenados	32 millones TM	61 millones TM
fertilizantes fosfatados ( $P_2O_5$ )	21 "	31 "
fertilizantes potásicos ( $K_2O$ )	16 "	24 "

La cantidad de fertilizantes que se aplica a la tierra aumentó notablemente después de los cincuenta con la introducción de las variedades de semillas superproductivas por la Revolución Verde y otras, por ejemplo en Filipinas el insumo de nitrógeno en los arrozales era de 17 kg/ha antes de la introducción de las nuevas variedades, después de ello el insumo se incrementó de 67 a 80 kg/ha. El uso de fertilizantes varía en gran medida entre un país y otro, en la India el consumo es de 32 kg/ha; en Egipto, 189 kg/ha; en Estados Unidos 200 kg/ha y en Japón 533 kg/ha (Banco Mundial, -- 1984); se ha calculado que en el futuro el uso de fertilizantes en todo el mundo aumentará en un 8% anual (FAO, 1981).

Los estudios de F. Allison en 1966 (Holdgate et al., -- 1982) y de O.P. Engelstad en 1984 (PNUMA, 1985) señalan que las plantas sólo utilizan aproximadamente del 50 al 60% del nitrógeno de los fertilizantes químicos y un 30% del de los abonos animales; el resto se pierde en el suelo sin reportar beneficio, las pérdidas se dan por lixiviación, escurrimiento y volatilización ya que los nitratos son convertidos a óxido de nitrógeno que se va a la atmósfera. La cantidad perdida varía enormemente y depende del cultivo de que se trate, el método de aplicación, del tipo de fertilizante (el nitrógeno se puede añadir como amoníaco anhidro, nitrato de amonio, urea, nitrato de sodio o nitro de Chile, etc., -- Manahan, 1984), de la temperatura del suelo y de otros factores.

El uso excesivo de fertilizantes ha creado numerosos problemas ambientales, entre los principales se encuentran la contribución de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados a la eutroficación (enriquecimiento de nutrientes) de las aguas superficiales, y a la concentración excesiva de compuestos de nitrógeno en el agua y la atmósfera. En muchas regio-

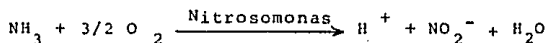
nes las aguas subterráneas están contaminadas con nitratos, su alta concentración ( más de 40 mg/lt) en los pozos del valle de Mosela en la República Federal Alemana ha sido -- atribuida principalmente a la aplicación de fertilizantes nitrogenados a las viñas; los nitratos han contaminado también las aguas subterráneas de la región de Central Sands en Wisconsin, Estados Unidos (PNUMA, 1976). En los últimos dos decenios han aumentado las concentraciones de nitratos de muchos ríos, de los cuales diversas poblaciones toman el agua para beber y otros usos, lo que constituye un riesgo para la salud ya que, de acuerdo con Tannenbaum et al., ( OPS, 1980a) los nitratos pueden ser reducidos a nitritos en la cavidad oral, tracto gastrointestinal y en la vejiga urinaria. Los nitritos reaccionan con las aminas en el estómago para formar compuestos N-nitrosos ; de acuerdo con C. E. Searle en 1976, un gran número de estos compuestos (por ejemplo las nitrosaminas) han demostrado ser carcinógenos en animales y hay posibilidades de que algunas nitrosaminas lo sean para el hombre (El-Hinnawi y Hashmi, 1982; RIPQPT, 1983).

El problema más importante para el suelo como ecosistema, radica en la fuerte perturbación poblacional que ocasiona el aporte masivo de nitrógeno como nutriente en exceso a las bacterias del suelo, con el consiguiente impacto biológico. El -- proceso de fijación del nitrógeno, en donde el nitrógeno molecular es fijado como nitrógeno orgánico comprende en realidad tres pasos: nitrificación, reducción de los nitratos y desnitrificación.

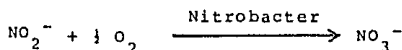
El ejemplo mejor conocido y la forma más importante de la fijación bacteriana lo constituye Rhizobium que desempeña una relación simbiótica ( mutuamente benéfica) con plantas leguminosas como el frijol, la soya y la alfalfa. Esta bacteria se

encuentra formando nódulos radiculares, estructuras especiales unidas a las raíces de las leguminosas; los nódulos están conectados directamente al sistema vascular de la planta permitiendo a la bacteria obtener energía producida por fotosíntesis, así la planta provee la energía requerida para romper los fuertes enlaces triples en la molécula de nitrógeno ( $N \equiv N$ ) convirtiendo éste a una forma reducida que es directamente asimilada por la planta, cuando la leguminosa muere y se descompone, el ión amoníaco es liberado y convertido por microorganismos a ión nitrato, el que es asimilado por otras plantas.

La nitrificación o conversión del ión amoníaco al ión nitrato es un proceso común y extremadamente importante tanto en el agua como en el suelo, su importancia deriva del hecho de que las plantas absorben el nitrógeno primariamente como nitrato. Cuando el fertilizante nitrogenado es añadido en forma de sales de amonio o amoníaco anhidro, se desarrolla una transformación microbiana a nitrato lo que permite su máxima asimilación. La nitrificación es llevada a cabo por dos grupos de bacterias: Nitrosomonas y Nitrobacter, las primeras realizan la transición de amoníaco a nitrito de acuerdo con :



mientras que las segundas median la oxidación a nitratos:



Ambos tipos de bacterias altamente especializados son - aerobios obligados, es decir que funcionan sólo en presencia de oxígeno molecular, también son quimiolitotrópicos, ello -- significa que pueden utilizar materiales inorgánicos oxidables como donantes de electrones en las reacciones de oxidación para obtener la energía que necesitan para sus procesos metabólicos (Manahan, 1984).

Reducción de nitratos, este término general se refiere a procesos microbianos mediante los cuales el nitrógeno en compuestos químicos es reducido a menores estados de oxidación. En ausencia de oxígeno libre, los nitratos pueden ser usados por algunas bacterias como receptores alternos de electrones; la reducción más completa posible de nitrógeno a ión nitrato implica la aceptación de ocho electrones por el átomo de nitrógeno, con la consecuente conversión de nitratos (+ V) a amoníaco (-III), (+ V, - III son los estados de oxidación). El nitrógeno, hemos dicho ya, es un componente esencial de las proteínas y cualquier organismo que utilice nitrógeno a partir de los nitratos para la síntesis proteica debe reducir primero el nitrógeno al estado de oxidación amoniacal --- (-III), (Manahan, 1984).

La desnitrificación es un caso especial e importante de la reducción de nitratos, en la cual el producto reducido es un gas que contiene nitrógeno; es un proceso muy importante en la naturaleza, en breve, el mecanismo mediante el cual el nitrógeno fijado es regresado a la atmósfera. Debido a que el gas nitrógeno es una sustancia volátil no tóxica, - que no inhibe el crecimiento bacteriano, y a que el ión nitrato es un aceptor de electrones muy eficiente, la desnitrificación permite el amplio crecimiento de bacterias en condiciones anaeróbicas. La pérdida de nitrógeno a la atmósfera



puede ocurrir también a través de la formación de óxido nitroso y óxido nítrico por acción sobre nitratos y nitritos, catalizada por la acción de diferentes tipos de bacterias. La producción de óxido nitroso en relación al nitrógeno es reforzada durante la desnitrificación en el suelo si hay elevadas concentraciones de nitratos, nitritos y oxígeno. Aunque anteriormente se creía que el óxido nitroso sólo se formaba durante la reducción de nitratos y nitritos, Breemer y Blackmer demostraron en 1978, que la nitrificación del ion amonio y de la urea resulta en la producción de óxido nitroso por la acción de diversos tipos de bacterias incluyendo Nitrosomonas europea. Tanto el óxido nitroso como el óxido nítrico participan en los procesos químicos atmosféricos, por lo que preocupa ya el incremento de su producción como resultado del mayor uso de fertilizantes nitrogenados (Manahan, 1984).

La adición directa de nitrógeno al suelo " fijado industrialmente" provoca una fuerte perturbación en las poblaciones de bacterias que participan de esta etapa, ya que la planta al disponer de nitratos en solución en el suelo no "necesita" del simbiote para tomar el nitrógeno y ello debe provocar un impacto especial en la evolución de la relación simbiótica.

Por otra parte, las bacterias que participan de la desnitrificación - al otro extremo del proceso - se encuentran con enormes cantidades de alimento por desnitrificar y las poblaciones deben tender a un crecimiento explosivo poblacional mientras se mantenga el exceso de nitrógeno en el suelo. Ya que la aplicación de nitrógeno y otros fertilizantes no es constante sino periódica, durante el tiempo posterior a la --

siembra, ello sujeta a las bacterias a ciclos de crecimiento y disminución poblacional que no tienen relación con las condiciones naturales en que aparecieron estos organismos como producto evolutivo, provocando elevadas tasas de natalidad y mortalidad siguiendo los ritmos agrícolas impuestos por el hombre; probablemente la perturbación se generalice a toda la comunidad de este complejo ecosistema, ya que como dice -- Pianka (1974) la adecuación total de un individuo, población o comunidad depende de la totalidad del medio ambiente en que se desenvuelven los organismos y lo que afecta a uno puede resentirlo toda la comunidad.

La forma y cantidad en que el mundo utiliza los fertilizantes es inadecuada y derrochadora, produciendo los efectos que hemos señalado, en lugar de optar por vías alternas como el uso de materiales locales; si el mundo en desarrollo se decide plenamente por el modelo "occidental", la contaminación global puede alcanzar niveles intolerables y los suelos y -- cuerpos de agua dulce podrían verse sujetos a un elevado impacto biológico que los puede conducir a la esterilidad, vía intoxicación, con los mismos productos que teóricamente el -- hombre aplica al suelo para el fortalecimiento de su fertilidad. Como se demostró en 1976, en la Conferencia Deahlem sobre Ciclos Químicos Globales y su Perturbación por el Hombre, la capacidad del sistema amortiguador global está siendo excedida por numerosos elementos ( Fyfe y Kronberg, 1980); a la cabeza del exceso podemos colocar sin titubeos a los fertilizantes nitrogenados y su efecto devastador sobre la biota del suelo.

Otro efecto perturbador de importancia ha sido la introducción vía Revolución Verde de un mayor grado de mecanización, lo que ha producido importantes efectos ambientales, especial-

mente en las zonas ecológicamente sensibles, el suelo puede sufrir daños físicos cuando se trabaja repetidamente con equipos pesados en condiciones climáticas húmedas, lo que ha sucedido ya en regiones del Reino Unido con la consiguiente disminución en los rendimientos ( PNUMA, 1976).

La compresión de los suelos agrícolas y silvícolas es ya causa de gran preocupación en aquellos lugares en que hay un alto grado de mecanización. En 1971, se calculó que el menor rendimiento de los cultivos debido a la compresión del suelo fluctuaba entre el 1% en el norte de los Estados Unidos y el 10% en el sur, lo que significó entonces una pérdida económica anual superior a los mil millones de dólares. Para 1980, de acuerdo con la Estrategia Mundial para la Conservación, - la pérdida de cultivos por este factor se calculó en tres mil millones de dólares ( UICN, 1980).

La compresión o compactación de los suelos produce:

- una reducción de la infiltración del agua hacia y a través del suelo
- menor intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera.
- un drenaje menos eficaz
- menor profundidad en la penetración radicular
- mayor frecuencia de enfermedades
- menor eficiencia del sistema radicular

todo ello repercute por supuesto en el crecimiento de los -- cultivos agrícolas y en los árboles de los bosques y zonas urbanas, y como consecuencia directa. representa una reducción del rendimiento.

Además la mecanización de la agricultura en los países en desarrollo, en donde los animales de tiro son sustituidos por maquinaria, impide que se aproveche el estiércol de éstos -

animales, el que es un valioso fertilizante orgánico local (PNUMA, 1985).

Conversión de suelos a otros usos.- muchas tierras para cultivo de buena calidad se destinan en la actualidad a usos no agrícolas, las causas principales de ello son la expansión urbana y la construcción de carreteras, pero también la minería, la industria y las actividades de esparcimiento juegan su papel. Lamentablemente las tierras para cultivo que desaparecen son generalmente las de mejor calidad (FAO, 1984b), ello se debe a que, a escala mundial, grandes ciudades están creciendo en superficie a una velocidad aproximadamente -- dos veces superior a la del crecimiento de su población (Banco Mundial, 1984), y como casi todas ellas se encuentran en llanuras fértiles, esto produce una grave pérdida de tierras arables (PNUMA, 1976).

De acuerdo con Buringh, en 1981, la pérdida anual de tierras laborales para usos no agrícolas fue de 8 millones de hectáreas y, según las tendencias 1975-1980, se calcula que entre 1975 y el año 2000 se habrán perdido sólo por este concepto - 75 millones de hectáreas ( Holdgate et al., 1982). Tan solo en Estados Unidos se pierden c. de un millón de hectáreas anualmente para la construcción de carreteras, urbanización y otros usos (El-Hinnawi y Hashmi, 1982).

Un estudio preparado por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), en 1977, señala que el consumo de suelos agrícolas para construcciones diversas expresado como porcentaje fue entre 1960 a 1970 de la siguiente magnitud:

Bélgica	12.3%	Austria	1.8%
Países Bajos	4.3%	Noruega	1.5%
Suecia	3.3%	Estados Unidos	0.8%
Dinamarca	3.0%	Nueva Zelanda	0.5%
Finlandia	2.8%	Turquía	0.4%
R.F.A.	2.5%		
Francia	1.8%	(UICN, 1980).	
Reino Unido	1.8%		

Para Japón la pérdida ha sido muy elevada entre 1968 y 1974, los japoneses emplearon sólo para construcción de viviendas y servicios urbanos un promedio de 29,736 hectáreas/año, y si a ello añadimos otros usos ( industria y minas, sistemas de comunicación, bosques, parques, etc. ) la cifra se eleva a 54,444 hectáreas anuales, es decir una pérdida neta de territorio japonés de 0.08 a 0.15 % respectivamente. Entre 1960 y 1970 los japoneses perdieron por este procedimiento el 7.3% de sus tierras agrícolas (UICN, - 1980; El-Hinnawi y Hashmi, 1982).

#### DESERTIFICACION.

Si la erosión es para la tierra una enfermedad, la desertificación significa su muerte (FAO, 1984b). Según los datos climatológicos cerca del 36.22% de la superficie de las tierras emergidas (excluyendo al continente Antártico), unos 48.7 millones de  $\text{km}^2$ , es un desierto o semidesierto y más del 15% de la población mundial vive en esas zonas -- ( ONU, 1978); pero según los datos sobre la naturaleza del suelo y de la vegetación, el área total representa c. del 43% de la superficie, unos 57.8 millones  $\text{Km}^2$  ; la diferencia entre ambas estimaciones c. del 6.78% se debe a la extensión estimada de los desiertos producidos por el hombre, unos 9.1 millones  $\text{Km}^2$  ( De Vreede, 1977 ; ONU, 1978). Revisiones posteriores ( PNUMA, 1984) señalan un incremento neto de 4.15 millones  $\text{Km}^2$  al incorporar la zona sub-húmeda tropical del planeta que ahora está en riesgo de desertifiación, ello nos da un gran total de 61.95 millones  $\text{Km}^2$  de desiertos, sub-desiertos y zonas proclives a la desertifiación, un área que abarca el 46% de la superficie terrestre continental e insular y comprende más de 850 millones de personas, casi el 17% de la población total (Cloudsley- - Thompson, 1977; De Vreede, 1977; ONU, 1978; Mabbutt, 1984 y 1985).

La palabra desertificación fue aplicada originalmente por el ecólogo francés Aubreville, en 1949, a la degradación de la vegetación y los suelos, en el África tropical húmeda y sub-húmeda, como resultado de la tala, de la quema y cosecha indiscriminada; el Plan de Acción para Combatir la Desertificación de las Naciones Unidas la define como: " la disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra que puede conducir finalmente a condiciones tipo desierto"; y el Mapa Mundial de la Desertificación producido por FAO et al., en 1977, se expande un poco más en la definición: " desertificación es la intensificación o extensión de condiciones desérticas, proceso que conduce a una productividad biológica reducida, con la consecuente reducción en : la biomasa vegetal, la capacidad de acarreo de la tierra para el ganado, los rendimientos de las cosechas y el bienestar humano" (Mabbutt, 1985).

La desertificación resulta del efecto combinado de dos conjuntos de factores: sequías severas y recurrentes, y la sobrexplotación humana de las tierras áridas (Holdgate et al., 1982). El hombre a través de su historia ha sido, en las palabras de Walls (1977), un creador de desiertos y aunque el mismo Walls calcula que hasta hoy hemos perdido tal vez una cantidad comparable de tierras a la que el hombre usa hoy en día para alimentarse (1,390 millones de hectáreas), no obstante el proceso continúa. El indicador más dinámico de la desertificación es la tala de los bosques y la destrucción de la vegetación leñosa (Mabbutt, 1984) de las que hemos hablado ya en el capítulo anterior. Además de la tala, la aridificación de los suelos se origina en el creciente avenamiento de las tierras, la disminución del nivel de las aguas (debido a una extracción excesiva) y al deterioro de los pastizales en vastas regiones de la Tierra, en las que al mismo tiempo se observan precipitaciones y temperaturas anormales (Kovda, 1977).

Los grandes desiertos de la Tierra son el resultado de patrones de vientos globales, o por lo menos hemisféricos, - producto de la circulación general de la atmósfera ( -- Cloudsley-Thompson, 1977).

El calentamiento del cinturón ecuatorial, con la consiguiente evaporación de grandes volúmenes de agua oceánica, provoca una expansión de la atmósfera húmeda con la consiguiente precipitación de fuertes lluvias en las regiones tropicales, el aire aún caliente y en expansión se enfría en su camino hacia los polos, y ya frío y seco se hunde en la atmósfera inferior c. de los 30° lat.N y lat.S, formando las llamadas celdas de Hadley y absorbiendo en su caída la poca humedad que encuentra a su paso, de tal manera que dadas - ciertas condiciones locales se forman de esta manera las zonas desérticas más importantes de la Tierra: Atacama y Sonora en América; Sahara y Namib en Africa ; Kara Kum y el - Desierto Arabe en Asia ; y el Gran Desierto Victoria en - Australia (Cloudsley-Thompson, 1977 ; Strahler y Strahler, - 1979). Este incesante descenso atmosférico confina in situ a los grandes desiertos terrestres y es lo que nos permite - caracterizar la mayor parte de los desiertos desde un punto de vista climatológico ( Hare, 1977).

De acuerdo con las conclusiones de la Conferencia Mundial sobre el Clima, éste ha variado lentamente durante los últimos milenios y seguramente lo seguirá haciendo en el futuro. Los cambios más significativos han sido los que se -- produjeron en los desiertos subtropicales y en sus alrededores en el hemisferio norte, especialmente en el Sahara, el desierto de Arabia , la región de Rajasthan y el Valle del Indus. Al parecer esta gran zona fue generalmente más húmeda de lo que es hoy en día, con importantes pastizales de - sabana en algunas partes del Sahara; las pinturas rupestres

aportan un espléndido patrimonio artístico de cazadores de caza mayor en un Sahara ahora completamente desértico -- (Cloudsley-Thompson, 1977). La civilización del Valle del Indus, de Mohenjo-Daro y Harappa, que floreció durante este período más húmedo, fue posteriormente eclipsada por los cambios climáticos.

Durante los últimos cuatro mil años este proceso de -- desertificación ha predominado en gran parte del cinturón subtropical, sin embargo todavía se desconocen los mecanismos que han originado estos cambios (Daniel, 1980). No obstante, Hare (1984) señala tres mecanismos de retroalimentación que han sido identificados como probables causas iniciadoras del proceso de desertificación desde el punto de vista climático:

- hipótesis del albedo, la que supone que la reducción de la cubierta vegetal eleva la reflectividad de la superficie a la radiación solar, lo que a su vez intensifica el hundimiento de las corrientes de aire superiores y por lo tanto conduce a la dispersión de nubes y a la supresión de la convección
- reducción en la capacidad del suelo para retener agua, lo que podría ocasionar una reducción en la cantidad de lluvias, especialmente dentro de los continentes
- la creciente polvosidad de las corrientes de aire puede alterar ambas, las propiedades radiativas y microfísicas del aire en forma tal que reduzcan las lluvias.

De acuerdo con los estudios de Graetz et. al., 1982, variaciones pequeñas en las condiciones de la superficie del -



suelo producen cambios apreciables en la reflectancia total, estos cambios han sido registrados por técnicas de reflectividad por diversos autores, Otterman, 1974; Fraser, 1976; Robinove, 1981 y Tucker, 1985, usando satélites meteorológicos norteamericanos (Tucker y Justice, 1986).

Las fotografías tomadas desde satélites han puesto de manifiesto que el elevado valor de albedo del Sahara, la Península Arábiga y gran parte del Cercano Oriente árido, hace que esta parte de la atmósfera se enfríe por irradiación incluso en pleno verano, lo que provoca que escape al espacio más energía de la que se recibe del sol (Hare, 1977 y 1984); esta pérdida de calor queda compensada dinámicamente por un mayor hundimiento de la atmósfera sobre toda esta inmensa zona, lo que explica la gran aridez de sus tórridos veranos. El peligro está en que el aumento del albedo, resultante de la destrucción de la vegetación en las zonas desérticas marginales como el Sahel, traiga consigo un mayor hundimiento atmosférico sobre esas zonas y la consiguiente agravación de la sequía, proceso de retracción en virtud del cual la sequía genera su propia intensificación (Hare, 1977; Cloudsley-Thompson, 1984); es por ello que --Kamal Tolba dice que la desertificación es un proceso que puede reproducirse una vez que comienza, ya que la degradación establece las condiciones para la continuidad de dicha degradación (Tolba, 1982a).

En 1975, K. Charney et al. mostraron que una brusca elevación del albedo sobre las márgenes del Sahara, debiera disminuir las precipitaciones pluviales, ya que el mayor albedo acclera el hundimiento de aire seco y frío, reduciendo las posibilidades de lluvia; después de él, otros científicos --han mostrado que su hipótesis también funciona para otros desiertos tropicales (Hare, 1984).

Por lo que parece los procesos que elevan el albedo de-  
 lieran disminuir las lluvias, así, el suelo desnudo tiene -  
 un mayor albedo que los pastos, bosques secos o matorrales.  
 Tucker y Justice (1986) encontraron que incluso la vegeta -  
 ción desértica latente (seca) produce un fuerte oscura -  
 cimiento de la superficie por lo que la destrucción de esta -  
 vegetación tiende a elevar el albedo, cerrando el ciclo se -  
 ñalado en párrafos anteriores.

De aquí se deriva la gran importancia del aclareamiento  
 de las selvas tropicales y de la conversión de suelos boscosos  
 y agrícolas en ciudades y carreteras con la cubierta de asfalto  
 respectiva, que por supuesto tiene un elevado valor de albedo.

Otro de los mecanismos señalados por Hare ha sido proba -  
 do en Inglaterra con experimentos sobre "modelos generales  
 de circulación", los que han mostrado la relevancia de la hu -  
 medad o contenido acuoso del suelo; en uno de ellos se de -  
 mostró que una superficie de tierra inicialmente seca supri -  
 me la formación de nubosidades portadoras de lluvia, lo que -  
 ofrece un cauteloso apoyo para la hipótesis de que una gra -  
 dual desecación de las zonas áridas es verdaderamente auto -  
 sostenedora, debido a que buena parte de las lluvias provie -  
 ne del agua de lluvia reevaporada a partir del suelo.

El tercer mecanismo, efecto del incremento de polvo en -  
 el aire, no ha sido aún investigado de manera suficiente (Hare,  
 1984). Además de estos señalamientos climáticos hay otros -  
 y variados factores que intervienen, podemos señalar ocho --  
 factores naturales:

- 1) la distancia del desierto al océano
- 2) cambios en las corrientes oceánicas
- 3) variación del viento
- 4) actividad de las manchas solares
- 5) deriva de la alta atmósfera por polvo volcánico
- 6) reacción del polvo ante las pautas del viento
- 7) cambios estacionales de humedad y temperatura
- 8) variación de la precipitación pluvial

a ellos debemos añadir otros ocho factores, éstos antropogénicos:

- 1) pautas pobres de siembra
- 2) prácticas de tenencia de la tierra
- 3) tradiciones nómadas
- 4) conflictos tribales y luchas territoriales
- 5) perfiles deficientes de nutrición
- 6) servicios sanitarios inadecuados
- 7) pérdida y agotamiento del suelo por plantar en línea recta
- 8) escasez energética

y aún a estos hay que añadir:

- crecimiento demográfico
- pautas demográficas cambiantes
- migración
- políticas desacertadas de pastoralismo (PNUMA, 1981)

La interacción de estos veinte factores más los climáticos señalados, unidos al sobre uso de la tierra por agricultores hambrientos, ganado y rebaños desesperados y famélicos, producen el impacto biológico que resienten actualmente las zonas áridas del mundo y sus organismos asociados.

Un problema más, parte misma de la desertificación, consiste en el número tan grande de animales (camellos, ovejas, cabras y ganado) que algunos habitantes de las zonas áridas insisten en mantener, y que se encuentran muy por encima de la capacidad de acarreo de estos frágiles ecosistemas; para los nómadas no es fácil comprender el problema ya que los animales representan alimento, riqueza y estatus social (SMIC, 1971; Cloudsley-Thompson, 1977; Dregne, 1984).

En la actualidad, el número total de cabezas de ganado es de 3,000 millones, de los cuales cerca de la mitad se

encuentran en las regiones áridas del globo, por ejemplo, en Africa del norte hay 30 millones de cabezas de ganado y en Australia 50 millones; los ecólogos advierten constantemente que las estepas secas y demidesérticas son extremadamente frágiles e inestables, ya que los suelos áridos en donde crece la hierba y pastan más del 1,000 millones de animales pueden transformarse en dunas móviles en sólo dos o tres años; en cambio para la recuperación de la vegetación y estabilización de las dunas se necesitan de 15 a 20 años o más (Kovda, 1977).

La presión internacional para el pago de la deuda externa de los países en desarrollo de zonas áridas, obliga a estas naciones a incrementar los cultivos de exportación, con lo que aparecen nuevas presiones sobre las tierras marginales para producir alimentos que requiere la población local (PNUMA, 1984).

Un último elemento no siempre considerado sería el efecto de las actividades militares sobre el medio ambiente, la deforestación química en zonas tropicales de suelos frágiles o en zonas semiáridas que se encuentran ya en un precario equilibrio en las fronteras del desierto, podría causar la rápida erosión del terreno y la desertificación irreversible; el empleo en gran escala de productos químicos incendiarios (napalm) podría tener resultados similares (PNUMA, 1980b; El-Hinnawi y Hashmi, 1982).

Resumiendo todo ello la Estrategia Mundial para la Conservación dice: " la desertificación es el resultado de la vulnerabilidad inherente de las tierras y de la presión ejercida por las actividades humanas. La presión numérica de los hombres y del ganado, junto con los proyectos de desarrollo mal concebidos, la extensión de la agricultura de zonas húmedas hacia zonas inapropiadas, el mal manejo -

del riego, el sobrepastoreo y la excesiva recolección de leña, han deteriorado vastas zonas y causado profundos sufrimientos humanos" (UICN, 1980).

El Sahel africano constituye sin duda el área de mayor problema, pero ya en la década 1968-1977 la desertificación alcanzó grandes proporciones en Brasil, Chile, Afganistán, Pakistán, Bangladesh, Egipto, Somalia, Etiopía, Kenia, Botswana y partes de Europa, China, Corea y los Estados Unidos (PNUMA, 1981).

Lo que quizás sea más alarmante todavía es que los desiertos se expanden a un ritmo siempre más rápido, la perspectiva a largo plazo configura una amenaza para la Biosfera en su conjunto.

El Sahara se expande al ritmo de casi un millón y medio de hectáreas por año hacia el sur, es decir que los africanos pierden un territorio equivalente al de Jamaica cada año, al de Checoslovaquia cada década (PNUMA, 1979 y 1981); en otras regiones del Viejo Mundo los desiertos avanzan con una velocidad aparente de un kilómetro o más por año dependiendo de la densidad de la población, como consecuencia del ramoneo de los animales principalmente cabras (SMIC, 1971).

En el Sudán la desertificación ha alcanzado proporciones alarmantes, allí la sabana avanza hacia la selva, la estepa desborda sobre la sabana y el desierto devora la estepa (Kovda, 1977); el límite meridional del Sahara sudanés se ha corrido hacia el sur casi 200 kilómetros entre 1958 y 1975, casi 12 kilómetros/año (Hare, 1977); estos datos indican el frente del desierto, el área que abarca este frente en movimiento es mucho mayor de lo que la cifra de "los kilómetros/año hacia el sur" nos indican.

Por lo menos el 95% de todas las tierras de las zonas áridas y semiáridas están sometidas al peligro de la desertificación, si clasificamos el riesgo de desertificación de moderada

do a muy alto, entonces debemos incluir el 55% de las de -  
Africa, el 34% de las de Asia y el 20% de las de América -  
del Sur (Tolba, 1982).

Las pérdidas actuales en el mundo por desertificación  
se calculan en unos 6 millones de hectáreas/año (Tolba, -  
1982a) e incluyen 3.2 millones de hectáreas de pastizales,  
2.5 millones de hectáreas de tierras de cultivo de secano  
y 125,000 hectáreas de tierras de regadío (Barney, 1980).  
El problema global es alarmante, evaluaciones locales en  
los países afectados por la desertificación señalan que -  
3,475 millones de hectáreas están ya desertificadas por lo  
menos en forma moderada e incluyen:

3,100 millones de hectáreas de pastizales

335 millones de hectáreas de tierras agrícolas de  
temporal

40 millones de hectáreas de tierras irrigadas

estas áreas representan en conjunto el 75% de todas las tie-  
rras productivas en las regiones áridas del mundo.

Asimismo las estimaciones realizadas sobre la extensión  
de tierras severa o muy severamente dañadas por la deserti-  
ficación (que han perdido más del 25% de su productividad),  
abarcan:

1,300 millones de hectáreas de pastizales

170 millones de hectáreas de tierras de secano

13 millones de hectáreas de tierras irrigadas

estos 1,483 millones de hectáreas de tierras constituyen -  
c. del 30% de las tierras áridas productivas del mundo --  
(Mabbutt, 1985).

La medida general del daño que causa la desertificación  
es, la superficie de tierra productiva que se deteriora to-  
dos los años hasta alcanzar un nivel de rentabilidad neta

igual a cero o incluso negativa. Para 1980 la degradación anual de la tierra, según esta definición, se estimó en 20 millones de hectáreas (PNUMA, 1982a), para 1984 la cifra se había elevado a 21 millones de hectáreas anuales y se estima que la producción perdida por este concepto tiene un valor de 26 mil millones de dólares por año (PNUMA, 1984), mientras que la estimación de 1980 sobre el costo de la ejecución del Plan de Acción para Combatir la Desertificación, aprobado en 1977, era solamente de 2,400 millones de dólares anuales durante 20 años (PNUMA, 1984).

Entre las consecuencias biológico-ecológicas más importantes de la desertificación están:

- la pérdida de recursos genéticos valiosos
- la alteración de los ciclos hidrológicos
- el incremento de polvo atmosférico
- aumento del albedo superficial
- pérdida de suelos agrícolas y forestales

los efectos económicos más devastadores son:

- pobreza
- incremento en el costo de los alimentos
- surgimiento de hambrunas y desnutrición con todas las implicaciones biológicas (falta de desarrollo cortical y corporal) y culturales que ello supone
- enfermedades y altas tasas de mortalidad, lo que presiona biológicamente a las poblaciones a tener :
  - altas tasas de natalidad, lo que produce mayor desertificación
  - migraciones

(Banco Mundial, 1984; Eckholm, 1984)

El mayor efecto socioeconómico es el surgimiento de la pobreza, la productividad declinante de los cultivos de zonas áridas y pastizales tiene su principal impacto sobre millones de personas consideradas como los más pobres del mundo, especialmente los habitantes de poblados de tierras semiáridas en Africa, el sur de Asia y crecientemente en América Latina; ya que estas personas dependen directamente de los suelos y bosques de tales zonas, al secarse aquéllos y desaparecer éstos, sus prospectos para una vida mejor desaparecen al extinguirse tan valiosos recursos.

Debe quedar claro que para revertir los procesos de desertificación en estas zonas, debemos acabar primero con la miseria de sus habitantes ya que si bien la desertificación engendra pobreza, son estos pobres los que a través de su desesperada búsqueda de alimentos y combustibles, producen, aceleran y mantienen la desertificación.

La desertificación no es un problema misterioso, la mayor parte de las veces el término describe las dimensiones ecológicas de un proceso de desarrollo mal enfocado, un proceso que no ha sabido proporcionar a la gente una forma no destructiva de vida (Eckolm, 1984).

Una vez resuelto este problema, mediante formas cuya disolución no corresponde a los fines de la presente investigación, la única medida directa que cabe propugnar en estas zonas es: el control del aprovechamiento de las tierras, es decir, la estabilización de una cubierta vegetal continua y perenne mediante una cuidadosa regulación de la ganadería y de la agricultura de temporal; allí donde pueda aplicarse, este control surtirá un triple efecto:

- estabilizará el suelo y conservará sus nutrientes y su contenido de materia orgánica
- facilitará el rápido crecimiento en época de lluvias
- impedirá el creciente albedo (Hare, 1977).



Dijimos al principio de este capítulo que la desertificación es producto de las sequías intensas, reiteradas, y de la acción humana; de esta última hemos señalado algunas posibles alternativas, de las sequías sólo podemos decir que son fenómenos prolongados, inevitablemente reiterativos de las zonas áridas, debidos a la estructura y funcionamiento de la atmósfera de la Tierra; ello no lo podemos cambiar - por el momento, y entonces, la única solución inteligente - que nos queda como biólogos es insistir en una utilización juiciosa y racional de los bosques, las tierras y sus recursos.

## C A P I T U L O V

## O C E A N O

\*  
 Vemos al mar como un sistema dinámico que interactúa con la atmósfera por arriba así como con la corteza de la Tierra por debajo, sus mareas se expanden y contraen en los estuarios de nuestros ríos, los que a su vez drenan la tierra llevando sales, cieno y suelo precioso hacia el mar.

La evaporación del océano es la fuente de la mayor parte de la lluvia que cae sobre la tierra y del agua que corre -- río abajo como resultado, es sólo un nexo en el ciclo tan importante que transporta moléculas de agua del mar a las nubes para formar lluvia o nieve que se precipitan al suelo, a los lagos, ríos y regresan al océano.

Así, los océanos son fuente de la lluvia y causa principal del clima. Bajo su inquieta y casi transparente superficie, yacen los valles más profundos de la Tierra así como vastas cadenas montañosas, planicies, abruptos cañones y posiblemente los volcanes más grandes y fieros que podamos encontrar (Bardach, 1968).

El océano es en primera instancia: 1,360,000 kilómetros cúbicos de agua líquida, un volumen que es difícil de imaginar, cubre el 70.8% de la superficie del planeta formando un vasto océano azul, único en todo el sistema solar; sólo en la Tierra hay tal cantidad de agua líquida (Ingmanson y Wallace, 1979). Los geógrafos y otros científicos hablan del Océano Mundial ya que todos los "grandes océanos" del mundo están interconectados entre sí, podemos hablar también del océano como de una entidad colectiva de todas las aguas salinas de la hidrósfera con un área total de 361.1 millones de km<sup>2</sup> (Fell, --- 1975; Sumich, 1980).

---

\* se usará indistintamente mar u océano.

Si no fuera por el océano, la Tierra no sería más que otro pequeño planeta inerte. La vida empezó en el mar, nada podía encaramarse "gateando" a tierra firme antes de que las algas del océano primitivo hubieran descargado el oxígeno del agua para formar una atmósfera acogedora, y sin los  $\text{Km}^3$  de agua de mar que caen en forma de lluvia todos los años sobre los continentes no tardaríamos todos en perecer y la tierra se volvería nuevamente inhabitable (Lean, 1982).

Gran parte de nuestra cultura lo mismo que nuestra vida misma se la debemos al océano, él es el que regó el crecimiento de la civilización primogénita en el creciente fértil del Asia Menor. Las primeras grandes sociedades fueron erigidas en torno a los mares semi-mediterráneos y a los ríos que desembocan en ellos, porque así tenían fácil acceso a los trayectos navegables de las aguas. Los mares relativamente protegidos brindaron ideas y bienes para levantar la condición material y el capital intelectual de aquellos primeros pináculos de la ascensión del hombre.

El comercio y el progreso navegaban muchas veces borda a borda a través de los mares del mundo. Los griegos fueron analfabetas durante casi 450 años, hasta que iniciaron el comercio a través del Mediterráneo Oriental con los fenicios, y de ellos, tomaron en préstamo su alfabeto y su arte mercantil; de esta "fertilización cruzada" de culturas, surgió el fastuoso florecimiento de la civilización helénica, que culminaría con la talasocracia ateniense.

Los siglos transcurrían pero el océano perdía muy poca de su influencia, hasta la llegada del ferrocarril en el siglo XIX el agua no tenía rival como medio de transporte, y fue a través del agua oceánica que siguieron difundiéndose la riqueza y los conocimientos. La gente que vivía cerca del

océano tenía oportunidades de expansión y comercio, de las que carecían la mayoría de quienes quedaban encerrados en fajas aisladas tierra adentro como lo indica la pauta de los idiomas.

La multiplicidad de lenguas en las selvas de Africa o en las planicies de Papau Nueva Guinea reflejan el largo aislamiento, separando por accidentes geográficos comunidades que apenas distaban unos cuantos kilómetros unas de otras; pero el mar transportó la lengua malaya hasta las Filipinas al oriente y Madagascar al poniente; diseminó las lenguas púnicas, griega primero y latina después, alrededor del Mediterráneo una y otra vez; diseminó también la lengua polinesia a lo largo del Pacífico sur; e hizo posible el predominio de los imperialismos de habla inglesa, francesa, española y portuguesa.

La historia de la humanidad ha estado relacionada directa o indirectamente con el océano mundial y los mares que lo forman, una buena parte de nuestro pasado ha sido determinado por la interacción entre la tierra y el mar, pero mientras que en el pasado la relación estuvo dominada por la influencia del océano sobre el hombre, el factor más importante en el futuro puede resultar el efecto del hombre sobre los océanos y mares del mundo. Antes de abordar dicha influencia debe quedarnos claro el significado actual polisemántico y dinámico del océano mundial.

El mar dice Albert Jensen (1979) es misterioso, un amigo, un enemigo, un proveedor y en cierta forma el generador de la humanidad. Cada uno de nosotros porta un "mar" en la sangre salina que recorre nuestros cuerpos y mantiene la vida en ellos, y por supuesto en el saco amniótico del útero materno nos desarrollamos en medio de un líquido muy parecido al océano, de donde en remota fecha nuestros ancestros anfibios --

surgieron al iniciarse la conquista de la tierra por el mundo viviente marino. Aunque hoy día caminamos erguidos sobre los continentes tenemos una relación profundamente arraigada con la cuna rítmica que nos dio origen. Nuestra fascinación con el mar y sus criaturas ha sido comparada a una memoria inconsciente de un hogar ancestral.

El océano tiene un impacto sobre todos nuestros sentidos, el olor marino único, el estampido de las olas rompientes, - el resplandor de las mismas olas danzando bajo la luz del sol o de la luna, la sensación del viento marino que sopla sobre nuestros rostros, el gusto salado del agua marina; todo este embrujo oceánico es más que misterio y deleite sensorial, - parte de él proviene de áreas no sensoriales, de memorias - cuasi olvidadas e imágenes más allá de la imaginación, muy por abajo de la superficie consciente ( Reville, 1969).

Pero además de todos estos nexos semimágicos hay otros - más objetivos, biológicos y económicos que nos unen a él; - su significado es inmenso para la vida en la Tierra y para los "mecanismos" de los procesos planetarios.

El océano es el acumulador y el transformador fundamental de la energía contenida en la radiación solar que llega a la superficie terrestre, un tercio de la cual se consume en la evaporación del agua marina; el océano con su inercia térmica y la circulación de sus corrientes es el regulador fundamental del tiempo (local) y del clima (global), y es el eslabón básico en la circulación del agua en la Tierra. - Desde el punto de vista biológico el océano mundial es la cuna de las distintas formas de vida. Según datos que operan en poder de la ciencia, las algas marinas desprenden - hasta tres cuartas partes del oxígeno que constituye la atmósfera terrestre y consumen hasta dos terceras partes del dióxido de carbono, es decir mantienen en ella el equilibrio

necesario, por ello se dice del océano que es el "pulmón" del planeta. Las inmensas cantidades de agua del océano mundial, que llenan las depresiones del fondo marino, sirven de medio principal de depuración de los desechos provenientes de la tierra; esta es la razón por la que también se le ha llamado " el riñón de la Tierra" ( Sálnikov, 1984).

A la vez, el océano continúa siendo uno de los factores más importantes de desarrollo geográfico-social, ya que reviste inmenso significado en la producción. Es la despensa del planeta, de cuyas riquezas se vale cada vez más el hombre y, además, el océano es también un gigantesco depósito de recursos alimentarios potencialmente inagotable. Y aunque los recursos biológicos son en unos cuantos órdenes inferiores a los de la tierra firme, la productividad de la masa biológica del litoral oceánico supera en más de dos órdenes a la productividad del suelo sobre los continentes.

Los productos del mar rinden la quinta parte de la proteína que consume la humanidad, a pesar de que no utilizamos más que la centésima parte de todas las especies de animales y plantas que habitan en el océano ( Sálnikov, 1984). El fondo del océano proporciona ya una parte sustancial del petróleo, cierta parte de metales y diamantes y, actualmente, el hombre se está preparando para la vasta utilización de los elementos químicos que contiene - en miles de millones de toneladas métricas- el agua del mar.

El océano mundial ha permitido desde tiempo inmemorial - unir las orillas de los continentes con una creciente red de vías marítimas, por las que se traslada hoy en día casi la séptima parte de todos los productos que se obtienen en el mundo.

El presente trabajo se centra en los aspectos biológicos y haremos referencia a las vías marítimas, y aspectos colaterales, solamente en lo que respecta a la participación humana sobre-depredadora y contaminadora que resulta en el impacto biológico en el mar.

#### Estructura y propiedades.

La Agencia Hidrográfica Internacional reconoce 54 mares pero sólo seis océanos: Artico, Atlántico Norte y Sur, Pacífico Norte y Sur e Indico. Por mar entendemos un gran cuerpo de agua, salado y rodeado por tierras o bien, una masa de agua con características físicas y químicas que la distinguen del océano más cercano (Ingmanson y Wallace, 1979). Todos los mares de la Tierra conforman el gran océano mundial, cuya profundidad promedio ha sido estimada en 3,865 metros por abajo del nivel del mar, mientras que la altura promedio de los continentes es de 840 metros por encima de su nivel. Si multiplicamos la profundidad promedio oceánica por su respectiva área superficial, el volumen del océano es más de once veces el volumen de los continentes por encima del nivel del mar ( Groen et al., 1975) .

Las características de configuración más prominentes del océano mundial, consideradas desde el límite continental hasta el mar abierto, comprenden:

- la línea costera, que separa océano y continentes, llamada también la zona litoral, del latín litus que significa costa ( Southward, 1965)
- la plataforma continental, que bordea a los continentes y se puede considerar como parte sumergida continental; la plataforma se localiza generalmente sobre el límite entre un continente y uno de los grandes océanos, pero en ocasiones puede estar encerrada sin acceso al océano como es el caso de la Bahía de Hudson en Canadá. Las -

plataformas continentales forman el 18% del área terrestre total, y el 7.5% del área total del piso marino; llegan a alcanzar hasta c. 1,800 kilómetros de ancho al norte de Siberia en el Océano Artico (Sumich, 1980), pero el promedio va de 50 a 100 kilómetros de amplitud; con frecuencia el borde exterior de la plataforma continental se encuentra a 130 metros, lo que se acerca a la profundidad promedio a la cual la inclinación del fondo se incrementa dramáticamente. Hay cerca de un metro de caída por cada mil metros sobre la plataforma, lo que se incrementa a un metro de caída por cada cien metros sobre talud continental; la inclinación de la plataforma continental generalmente es de  $0^{\circ} 07'$ , la mayoría de las características de la plataforma continental se pueden atribuir a seis procesos geológicos:

- glaciación
- cambios en el nivel del mar
- energía de olas y corrientes
- sedimentación
- fallas
- vulcanismo (Ingmanson y Wallace, 1979)

Sumich (1980) calcula que la plataforma continental sería parte de los continentes, y no una característica oceánica, si el nivel del mar descendiera en sólo 5% de su actual nivel, tal y como sucedió hace unos doce mil años durante la última glaciación. El borde externo de la plataforma es llamado a veces la discontinuidad o rompimiento de la plataforma, es una característica vagamente definida que no es manejada por todos los autores, aparece a profundidades de 120 a 200 metros en donde alcanza normalmente su profundidad promedio máxima ( Fell, 1975).



- talud continental, se inicia en la zona de rompimiento de la plataforma continental en donde se incrementa la inclinación topográfica, la que generalmente alcanza en promedio,  $4^\circ$ . En el Océano Pacífico el talud comprende profundidades de entre 4 y 10 kilómetros debido al sistema de fosas de este océano, en otros el talud generalmente alcanza menos de tres kilómetros; es el límite o frontera entre la masa continental y la cuenca oceánica verdadera (Ingmanson y Wallace, 1979; Sumich, 1980).
- elevación continental, es una zona de transición entre el continente y la cuenca oceánica, ésta constituye la parte del piso del océano que se encuentra generalmente a una profundidad de más de 2,000 metros. En la mayor parte de las regiones, la elevación consiste de sedimentos no consolidados, en el Océano Pacífico las elevaciones se localizan solamente en el borde del continente antártico y en el Pacífico nororiental fuera de las costas de Norteamérica, ello se debe a que su patrón de distribución se relaciona claramente con los movimientos de la tectónica de placas.
- planicies abisales, alrededor de los cuatro kilómetros de profundidad el nivel del piso marino se nivela para formar las llamadas planicies abisales que de hecho son más onduladas que planas (Fell, 1975), se extienden por cientos de miles de kilómetros con sólo pequeños cambios de nivel (Tait, 1972) y constituyen, por cierto, una parte importante del área total del océano

- cordilleras oceánicas, en ciertos lugares el piso del océano se eleva hasta formar montañas submarinas con cimas que alcanzan hasta dos mil o cuatro mil metros de altura sobre el piso del mar, los picos más altos rompen la superficie para constituir islas, formando verdaderas cordilleras y planicies que cubren una gran parte de la superficie de la Tierra, un área aproximadamente igual a la de los continentes (Tait, 1972).

Por más de dos siglos, se pensó que islas como el archipiélago de Hawai eran en realidad picos de cordilleras sumergidas, pero no fue sino hasta 1928, cuando el oceanógrafo alemán L. Kober comenzó a mapear las cordilleras oceánicas, que se empezó a comprender esta increíble característica marina.

- zonas de fractura, aparecen como una característica particular de las planicies abisales y constituyen grandes fracturas del fondo oceánico, su origen se relaciona según algunos teóricos con grandes desplazamientos de la corteza.
- fosas oceánicas, en otras partes el fondo del océano está surcado por zanjas o abismos más profundos llamados fosas, en realidad son estrechas depresiones alargadas y profundas del piso marino, con flancos relativamente empinados, generalmente alcanzan más de seis kilómetros de profundidad, la mayoría, incluyendo las cinco más profundas, se localizan en el Pacífico; aquí la fosa de las Islas Marianas alcanza 11,022 metros, la mayor profundidad encontrada hasta hoy en el planeta. Las fosas comprenden menos del 2% del fondo marino, pero son interesantes debido a las temperaturas y presiones que ejercen sobre sus habitantes (Tait, 1972; Ingmanson y Wallace, 1979; Sumich, 1980).

- montañas sumergidas, son comunes en las planicies abisales y comprenden dos tipos:
  - knolls abisales, pequeños y poco estudiados
  - elevaciones de más de un kilómetro de altura generalmente de dos clases:
    - montes marinos de picos redondos o irregulares
    - quyots que son planos en su cima
- atolones coralinos, en las regiones tropicales principalmente en el Pacífico muchas islas están bordeadas por arrecifes coralinos; algunos forman barreras fuera de la costa como la Gran Barrera de la costa oriental de Australia, otros forman bordes circulares alrededor de las islas tropicales y son llamados atolones (Ingmanson y Wallace, 1979)

Hay otras características estructurales que destacan, como los cañones submarinos que se forman en el talud continental y en las planicies abisales, y los deltas oceánicos profundos en las mismas planicies frente a la desembocadura de grandes ríos continentales como el Ganges y el Indo en el Océano Indico; no obstante una de las características más interesantes y relevantes para la vida la constituyen las islas.

El concepto de "isla" en su sentido más simple pareciera fácil de definir, un área de tierra completamente rodeada por agua; tenemos dos grandes grupos de islas:

- las islas oceánicas, de las que se cree que nunca han sido parte de o han estado, conectadas a un continente, los principales grupos de esta categoría son: Polinesia, Micronesia, Macronesia, las islas del occidente del Océano Indico, las Galápagos, Juan Fernández, posiblemente la mayoría de las Aleutianas y unas pocas islas aisladas como Clipperton, Cocos, Bermuda, Santa Helena, -- Ascensión, Tristán d'Acunha, etc.

- las islas continentales, forman parte actualmente de un continente o bien fueron parte de él en el pasado; entre ellas destacan Malasia y Melanesia en la región Indo-Pacífica, las Indias Occidentales del Atlántico, el archipiélago ártico canadiense, las islas árticas soviéticas, Japón, Ryukyus, Hainan, Sri Lanka, Madagascar, Tierra del Fuego y probablemente Nueva Zelanda ( UNEP, 1980a).

Las islas pueden ser mejor abordadas para su estudio desde una perspectiva ecológica como ecosistemas insulares; su característica esencial sería el ser un área de tierra seca, de tamaño menor que un continente, rodeada y aislada de otras tierras por agua; otras características significativas serían:

- aislamiento relativo
- tamaño limitado ( espacio de recursos)
- limitación de o incluso ausencia de ciertos recursos
- limitada diversidad orgánica
- competencia interespecífica reducida
- protección de la competencia externa y por lo tanto preservación de formas arcaicas
- tendencia hacia la uniformidad climática
- vulnerabilidad extrema o tendencia hacia una gran inestabilidad al romperse el aislamiento
- tendencia hacia un rápido incremento en la entropía al iniciarse los cambios

Es probable que ningún ecosistema insular haya sido jamás completamente estable. El tamaño limitado provoca que incluso pequeños cambios sean capaces de producir efectos generales -- profundos; en otras palabras el efecto amortiguador del gran

tamaño y diversidad no existe . No obstante, es probable - que antes de la evolución del hombre y su dispersión por el planeta, muchos o la mayoría de los viejos sistemas insulares hayan alcanzado una estabilidad tal que los cambios en ellos fueran en su mayoría muy lentos ( UNEP, 1980a).

Todas estas características de las cuencas oceánicas nos sirven para conocer la fisiografía o estructura del océano - mundial desde un punto de vista físico, geográfico y geológico, pero no nos ayudan a comprender la vida que bulle en - su seno. No es posible apreciar de manera apropiada las características estructurales y los hábitos de los animales y plantas marinos sin un conocimiento profundo de los factores ambientales que se relacionan con esas características y que tienen que ver con las diversas formas de adaptación (Crowder, 1975).

Los límites físicos que definen las diferentes clases de ambientes marinos, no están rígidamente fijados en el espacio y tienden a variar dependiendo del criterio aplicado en su definición. Así los biólogos y ecólogos marinos que se dedican al estudio de las regiones estuarinas definen los límites de este ecosistema particular en base a la salinidad del agua, - ya que este es probablemente el factor limitante para la vida en la zona. La clasificación en base a este factor comprende entonces medios ambientes marinos definidos por la cantidad - de sales disueltas en el agua:

<u>ambiente</u>	<u>salinidad expresada en o/oo</u>
infrahalino	0.5
oligohalino	0.5 a 3.0
mesohalino subdividido en:	
meiomesohalino	3.0 a 8.0
pleiomesohalino	8.0 a 16.5
polihalino	16.5 a 30.0
ultrahalino	+ de 30.0

(Ingmanson y Wallace, 1979).

No obstante, este tipo de clasificación, si bien útil y apropiada, no puede hacerse extensiva para toda la vastedad oceánica en donde por cierto la salinidad es bastante constante en torno a un valor promedio. De acuerdo con - Ingmanson y Wallace (1979) la característica cuantitativa más común del océano empleada para clasificar los ambientes marinos es la profundidad, y la ordenación más ampliamente aceptada es la propuesta por el Comité sobre Ecología y - Paleoecología Marinas de la Sociedad Geológica de América de los Estados Unidos, en ella los océanos son divididos en primera instancia en dos grandes provincias, la nerítica que incluye la plataforma continental, el agua sobre la plataforma y la zona de intermareas, y la provincia oceánica que incluye el resto del océano mundial. Cada provincia a su vez se subdivide en dos partes la bentónica que se refiere al piso del mar y la pelágica que comprende el agua sobre aquél (Ingmanson y Wallace, 1979).

La distribución espacial de los organismos en el océano, tiende a ordenarse en un amplio patrón reconocible de zonación, ello nos conduce a una clasificación de los ambientes marinos en base a la distribución de la vida en este amplio conjunto de ecosistemas; la vida marina se subdivide entonces en dos grandes grupos: pelágico y bentónico. El grupo pelágico se subdivide en:

- neuston, vida en los centímetros superiores de la su perficie oceánica
- plancton, flotadores pasivos y nadadores débiles
- necton, buenos nadadores

(estos tres se subdividen a su vez en las dos grandes provincias: nerítica y oceánica), dividido en cinco zonas, a saber:

- epipelágica	0- 150 metros de profundidad	
- mesopelágica	200- 1,000 metros	" "
- batipelágica	1000- 2,500 metros	" "
- abisopelágica	2500-11,500 metros	" "
- hadopelágica	6000-11,500 metros	" "

Las últimas cuatro comprenden la zona bentopelágica que incluye las regiones más profundas de estas zonas aproximándose al lecho marino a una altura de 100 metros o más del fondo.

El segundo grupo, el béntico, se subdivide a su vez en:

- megabentos, organismos reconocibles fotográficamente
- macrobentos, organismos retenidos en una malla de c. 0.3 mm.
- meiobentos, organismos de 40  $\mu$ m a 0.3 mm.
- microbentos, bacterias y otros

estas cuatro subdivisiones pueden ser:

- epifauna, que viven sobre o por encima del fondo
- infauna, enterrados en el fondo marino

ambos grupos se dividen en dos grandes zonas:

- litoral, sobre la plataforma continental
- de mar profundo, en tres subgrupos:

- batibéntico	200-cA,000 metros de profundidad	
- abisobéntico c.	4000-11,500 metros	" "
- hadobéntico	6000-11,500 metros	" "

(GESAMP, 1983)

Esta clasificación es muy importante dado el enfoque del presente trabajo, ya que tal zonación de los organismos nos puede permitir el desarrollar estrategias de vertido de desechos en el océano profundo.

La región más extensa del océano mundial, que comprende casi el 85% de su área, es el ambiente del giro central en medio del océano sobre las profundidades abisal y hadal, limitada en sus márgenes por los taludes continentales que se levantan hacia los mares someros de la plataforma continental.

#### Aspectos Generales del Medio Ambiente Marino.

Las actividades que comprenden la vida de los organismos son dependientes de y están controladas cercanamente por sus circunstancias externas, por las condiciones físicas y químicas en las que viven y por las poblaciones de otros organismos con los que interactúan.

Los organismos marinos, como los terrestres, ejercen a su vez ciertos efectos sobre estas condiciones, de tal manera que algunas características del medio determinan el tipo y número de organismos que en él existen así como su comportamiento, y por ello, las podemos denominar biológicas. Acaso la más relevante la constituye el agua del mar, la que es un medio excelente para la existencia y desarrollo de la vida en una gran variedad de formas y tamaños.

Probablemente todos los elementos naturales se encuentran disueltos en el agua de mar, y todos los constituyentes necesarios para la formación del protoplasma están presentes en las formas químicas y las concentraciones apropiadas para su uso directo por las plantas. La transparencia del agua y su alto contenido de bicarbonatos y otras formas de dióxido de carbono proveen un ambiente, en la superficie exterior del océano, en el cual las plantas pueden formar materia orgánica por fotosíntesis, y de esta manera se producen grandes volúmenes de alimento para las poblaciones animales; debido a que la luz penetra sólo una corta distancia en el agua, las plantas marinas deben ser capaces de flotar en la superficie, si son --



sésiles están limitadas a aguas someras.

En el medio acuático del océano mundial pueden existir formas de vida muy simples y frágiles debido a que el agua les provee: soporte, flotación, transporte y protección, permitiendo por lo tanto procesos reproductivos muy simples, y minimizando la necesidad de complicaciones estructurales, - tales como órganos locomotores y esqueletos o cubiertas protectoras ( Tait, 1972).

El agua constituye del 80 al 90% del volumen total de la mayoría de los organismos marinos, el agua es también el medio para que se efectúen la mayor parte de las reacciones químicas esenciales para la vida, a su vez los procesos vitales de los organismos afectan muchas de las propiedades físicas y químicas del agua incluyendo su transparencia y composición química; como resultado de ello podemos decir que las plantas y animales marinos son parte integral del medio ambiente oceánico. Algunas propiedades físicas del agua biológicamente importantes son: tensión superficial, - expansión térmica ( relacionada con la densidad), capacidad calorífica, conducción de calor, calores latentes de fusión y vaporización, poder de disolución, viscosidad e índice de refracción (Ingmanson y Wallace, 1979; Sumich, 1980).

La temperatura-es un factor importante en el océano ya que es una medida relativa de la condición provocada por la energía calorífica y se mide comúnmente en grados centígrados, es un factor universalmente de gran relevancia ya que gobierna la existencia y comportamiento de los seres vivos. Los procesos vitales dejan de funcionar por encima del punto de ebullición del agua y a temperaturas por debajo del de congelación, ya que la formación de cristales de hielo destruye las estructuras celulares ( Sumich, 1980).

La temperatura del mar varía de acuerdo con la estación, la latitud y la profundidad a que se realice la medición, la más caliente se encuentra en la superficie cerca del Ecuador, en donde la temperatura promedio del agua a través de todo el año es 26.6°C, aunque Tait (1972) señala que en aguas someras o parcialmente encerradas como en el Golfo Pérsico, la temperatura superficial puede elevarse hasta 35°C durante el verano, y además en la costa donde las condiciones son extremas las charchas de marea exceden en ocasiones los 50°C; en el otro extremo están los mares más fríos de las regiones polares - con un valor mínimo de - 1.9°C ( cuando se congela la mayor parte del agua en el mar). De tal forma que el intervalo total de temperaturas en el océano comprende c. 30°C , una cifra modesta comparada con las fluctuaciones observadas en los ambientes terrestres, de tal manera que en los organismos marinos no encontramos adaptaciones pronunciadas para protegerse de cambios térmicos o de extremos de temperatura (Fell, 1978).

La mayor parte de los animales poiquiloterms ( o de sangre fría), y virtualmente todas las plantas, carecen de mecanismos de regulación térmica corporal. La temperatura de sus cuerpos varía con y es grandemente controlada por las condiciones de temperatura ambiental; ambos grupos de organismos tienen óptimos estrechos de intervalos de temperatura, con amplios intervalos subóptimos adyacentes pero tolerables.

Relativamente pocos animales, sólo las aves y los mamíferos, son homeotermos , es decir que mantienen controlada con precisión la temperatura corporal interna independientemente de la del ambiente exterior.

Los efectos fisiológicos de los cambios de temperatura son complejos, pero en términos simples se incrementan las -

tasas de los procesos metabólicos al aumentar la temperatura, usualmente, en 10% por cada grado centígrado sobre ciertos intervalos de temperaturas, y hasta un máximo más allá del cual caen rápidamente. La muerte ocurre por encima y por debajo de ciertas temperaturas limitantes debido probablemente a perturbaciones de la actividad enzimática, el balance de agua y otros aspectos de la química celular. Las criaturas marinas sucumben usualmente más rápido al sobrecalentamiento que al sobreenfriamiento.

En circunstancias normales, la temperatura determina -- la distribución de los organismos a través de su influencia sobre la alimentación, respiración, osmorregulación, crecimiento y especialmente la reproducción; ésta es regulada por la temperatura en diversas formas. Controla la maduración de las gónadas y la liberación de esperma y óvulos en muchos casos; la tolerancia térmica de embriones y estados larvarios es menor que en los adultos. Por lo tanto la temperatura tiene una gran influencia sobre el período de crianza y sobre las tasas de mortalidad durante los primeros estadios de desarrollo y la vida larval ( Tait, 1972).

La temperatura disminuye generalmente al aumentar la profundidad a la que se haga el registro, excepto en los océanos y mares polares en donde la temperatura es fría de la superficie al fondo debido a que el calor pasa del mar a la atmósfera. El enfriamiento de la superficie del agua produce una mezcla por convección y por ello hay poca diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fondo.

A bajas latitudes, la absorción de calor en la superficie del mar produce una ligera capa superficial caliente que se establece sobre las capas profundas más densas y frías; aquí

el gradiente de temperatura no desciende de manera constante, sino que muestra una zona de cambio abrupto en la cual la temperatura cambia agudamente con la profundidad, esto es llamado una termoclina y la zona es llamada capa de discontinuidad. La termoclina es muy importante desde el punto de vista biológico ya que inhibe el intercambio de gases, nutrientes y algunas veces incluso de organismos entre las capas, la superficial mezclada y la segunda estable.

En las regiones templadas y polares, la termoclina es una característica estacional que se presenta en los meses de verano y desaparece durante el invierno, mientras que en latitudes ecuatoriales parece ser una constante de la distribución vertical de la temperatura. La termoclina se presenta usualmente entre 100 y 500 metros, por encima de ella la capa de mezcla mantiene el agua constantemente caliente, un estrato conocido como la termosfera, por abajo de ella se encuentra la psicrosfera en donde el agua es fría y existe sólo un ligero decrecimiento de la temperatura hacia el fondo; en cierta forma la termoclina actúa como una frontera entre poblaciones de agua caliente por encima y poblaciones de agua fría por debajo (Tait, 1972; Groen et al., 1975; Ingmanson y Wallace, 1979; Sumich, 1980).

Composición del agua de mar.- De toda el agua del mundo el 97.2% está en el océano, el 2.15% está congelada en las capas polares, la nieve y los glaciares; sólo 0.65% se encuentra en ríos, lagos y subsuelo, y solamente el 0.001% está en la atmósfera; y aunque todo lo que crece sobre los continentes depende del agua dulce, el hecho es que la mayor disponibilidad del líquido en el planeta lo constituye el agua salada del mar (Ingmanson y Wallace, 1979).

El agua marina es una solución extremadamente compleja, su composición está determinada por un equilibrio entre tasas de adición y pérdida de solutos, evaporación y la adición de agua dulce, los solutos son añadidos constantemente al agua principalmente por disolución de las rocas de la tierra mediante intemperismo y erosión, y eventualmente, se precipitan al fondo marino formando extensos depósitos. A corto plazo existen pequeñas fluctuaciones en la composición, debidas a los procesos biológicos que implican absorción y liberación de solutos por parte de los organismos, hay también un importante intercambio de gases entre el océano mundial y la atmósfera.

Hoy en día los principales aniones presentes en el agua de mar son: cloro (el elemento más importante después del agua misma), sulfatos, bromo y carbono en forma de carbonatos, bicarbonatos y dióxido de carbono molecular. Los principales cationes son: sodio (el segundo elemento en importancia), magnesio, calcio, potasio y estroncio; ellos constituyen el 99.9% del material disuelto en el océano, formando aproximadamente una solución al 3.5%.

La cantidad de materia inorgánica disuelta en el agua y expresada como peso en g/kg de agua marina es llamada la salinidad ( $S$ ), generalmente tiene un valor de 35 g/kg, es decir,  $S = 35$  o/oo. Usualmente la salinidad de la mayor parte de los océanos oscila entre 34 y 36 o/oo pero hay ligeras variaciones incluso acentuadas en casos particulares. Se encuentra elevada salinidad en aquellas zonas asociadas con bajas precipitaciones y rápida evaporación, especialmente allí donde es pobre la circulación del agua, tales condiciones se presentan en el Atlántico norte, en el Mar de los Sargazos y en el Atlántico sur fuera de la costa de Brasil, alcanzándose valores de salinidad superficial de 37 o/oo; contrariamente, en altas lati

tudes la fusión del hielo, fuertes lluvias y drenado de los continentes, junto con una baja evaporación, reduce la salinidad del agua; en el Artico ésta fluctúa entre 28 y 33.5 o/oo, con alternancia de fusión de hielo y solidificación del agua.

La salinidad del agua nerítica está sujeta a fluctuaciones debido a cambios en la tasa de dilución por el agua -- dulce que proviene del continente; el agua de los ríos, contiene con frecuencia iones en proporciones muy diferentes a aquellas del agua marina normal, y esto puede producir cambios apreciables en la composición del agua de mar en las bocas de los ríos. Los principales componentes iónicos de la mayoría de los ríos ( 98% ) son: calcio y los iones bicarbonato, mientras que aquellos del agua de mar hemos señalado anteriormente son los iones sodio y cloro ( Millero, 1981; - Meybeck, 1981).

Los ríos son las principales rutas de la tierra hacia el mar de los productos naturales del intemperismo, la erosión y los productos fabricados por el hombre.

Comparada con la cantidad total de materiales disueltos y suspendidos aportados al océano por los ríos, la cantidad de aporte a través de la atmósfera es relativamente pequeña aunque importante, y la contribución a través del escurrimiento costero y de aguas freáticas es desconocida pero se calcula que es pequeña ( Lerman, 1981).

Los principales elementos llevados por los ríos del mundo al océano son: silicio, calcio, magnesio, sodio, potasio, fierro, aluminio, azufre, cloro y carbono; estos diez comprenden más del 95% del transporte fluvial (Meybeck, 1981).

Excepto por los teleosteos y los vertebrados superiores, la mayoría de las criaturas marinas están en equilibrio osmótico con el agua que las rodea. La composición iónica de sus fluidos internos tiene, en la mayor parte de los casos, una similitud cercana a la del agua de mar conteniendo concentraciones relativamente altas de sodio y cloro y concentraciones considerablemente más bajas de potasio, magnesio y sulfatos. Los cambios en la salinidad externa producen mensualmente cambios correspondientes en la concentración de los fluidos internos; debido al paso del agua a través del cuerpo, éste debe realizar ajustes osmóticos para preservar el equilibrio y estos cambios son acompañados con frecuencia por alteraciones en las proporciones de los iones constituyentes de los fluidos internos. Más allá de ciertos límites, que difieren de especie a especie, las desviaciones de la concentración y composición normal del medio interno producen perturbaciones metabólicas y eventualmente la muerte (Tait, 1972).

La mayor parte de los organismos del océano abierto tienen límites de tolerancia muy estrechos para cambios en la salinidad (estenohalinos), mientras que aquellos que habitan en las costas pueden soportar amplios cambios en la concentración salina del mar (eurihalinos); la eurihalinidad extrema caracteriza a las especies estuarinas; entre los peces eurihalinos más conocidos se encuentran los salmones y las anguilas, ambos pasan parte de su vida en el océano y parte en agua dulce, algunos grupos de tiburones se desplazan libremente del mar hacia los ríos e incluso entran a lagos de agua dulce comunicados por ríos con el mar. Algunos de los ataques de tiburones reportados en Australia han ocurrido en ríos a cientos de kilómetros de distancia del océano (Fell, 1975).

Los organismos que permanecen en balance osmótico con su medio a pesar de variaciones en la salinidad se conocen como poiquilosmóticos e incluyen algunas criaturas ampliamente eurihalinas como: Arenicola marina, Mytilus edulis, Mya arenaria, Balanus spp, etc. Algunos animales son capaces de mantener la concentración de sus fluidos internos - dentro de ciertos límites, independientemente de los cambios en la concentración del agua, este proceso se conoce como osmorregulación y los organismos que lo desarrollan - se conocen como homeosmóticos, por ejemplo: Carcinus maenas el cangrejo costero, Nereis diversicolor, Gammarus locusta, etcétera.

Los cambios en la salinidad del agua afectan su gravedad específica y ello influye indirectamente a los organismos a través de sus efectos sobre la flotación (Tait, 1972).

Todos los gases que componen la atmósfera, incluyendo - los inertes, están presentes en solución en el agua de mar. El contenido de oxígeno varía entre 0 y 8.5 ml/l; se presentan valores elevados en la superficie en donde el oxígeno - disuelto tiende a equilibrarse con el atmosférico, en ocasiones una rápida fotosíntesis puede producir sobresaturación .

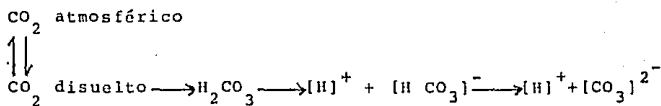
El oxígeno en solución es un parámetro ambiental muy - importante en el agua, ya que todos los organismos lo requieren para oxidar azúcares y grasas de los tejidos corporales, lo que les proporciona la energía necesaria para su actividad (Fell, 1975). Debido a que el oxígeno es más soluble en - agua fría que en agua caliente, el contenido de la superficie es usualmente mayor a altas latitudes que cerca del ecuador, y el hundimiento de agua superficial en los mares polares aporta agua rica en oxígeno al fondo de las cuencas oceánicas



profundas. En general el contenido de oxígeno disminuye con la profundidad, ya que es usado por los organismos a todas las profundidades y en la descomposición de restos vegetales y animales.

La preponderancia en el agua de mar de iones básicos-fuertes: sodio, potasio y calcio, imparte una ligera alcalinidad y permite que una cantidad considerable de dióxido de carbono sea contenida en solución, esto es de gran importancia biológica ya que el  $\text{CO}_2$  es la materia prima de la -- fotosíntesis. Bajo condiciones naturales es probable que el crecimiento vegetal no sea entonces limitado por una escasez de este gas.

El dióxido de carbono está presente en el agua de mar principalmente como iones bicarbonato pero también hay algo disuelto, ácido carbónico sin disociar e iones carbonato. En la superficie el  $\text{CO}_2$  disuelto tiende al equilibrio con el  $\text{CO}_2$  atmosférico, así, los océanos actúan como reguladores de la cantidad del gas en la atmósfera. El equilibrio total se puede representar de la siguiente manera:



En el mar se encuentran ciertas cantidades de nitrógeno sin combinar: 8.4-14.5 ml/l, y aunque hay bacterias y algas verdeazules fijadoras de nitrógeno, la cantidad de nitratos formados por su actividad es baja; también hay cierta devolución de nitrógeno del océano mundial a la atmósfera debido a la actividad de bacterias desnitrificadoras.

Además de estos elementos, hay otros presentes en el mar en pequeñas cantidades, los iones más abundantes son de silicatos a concentraciones de 6 mg/kg y de flúor por encima de 1.4 mg/kg. El peso combinado de todos los demás constituyentes menores es de menos de 2 mg/kg, de algunos sabemos que están allí sólo porque se han encontrado concentrados en el cuerpo de organismos marinos. No obstante se ha observado que en agua marina artificial preparada solamente con los constituyentes mayores sobreviven sólo algunos organismos, es evidente entonces, que los elementos traza son de gran importancia biológica aunque su papel no se conoce con exactitud.

Algunos son esenciales para el crecimiento normal de las plantas: nitratos, fosfatos, fierro, manganeso, zinc, cobre y cobalto; el silicio es un ingrediente de las diatomeas y algunas algas requieren molibdeno y vanadio. Los animales usan también los elementos traza: el silicio se encuentra en las espículas de la mayoría de los radiolarios y de algunas esponjas; el fierro es requerido por todos los animales; el cobre está presente en el grupo prostético del pigmento sanguíneo hemocianina en algunos moluscos y crustáceos; el vanadio existe en el pigmento sanguíneo de los ascidios, y la hormona tiroxina de los vertebrados es un compuesto yodado.

Ciertos organismos concentran grandes cantidades de estos elementos, el vanadio en los ascidios es un ejemplo sorprendente, se presentan concentraciones aproximadamente cincuenta mil veces mayores que en el agua de mar. Yodo, níquel, molibdeno, arsénico, zinc, vanadio, titanio, cromo y silicio se concentran en los tejidos de diversas algas marinas, y algunos peces concentran: plata, cromo, níquel, estaño o zinc (Tait, 1972).

Mientras que los principales constituyentes del agua de mar y algunos de los menores permanecen virtualmente - constantes en proporción, ciertos elementos traza fluctúan en cantidad debido a la absorción selectiva de los organismos, entre ellos están: nitratos, fosfatos, silicio, fierro y manganeso.

#### Gravedad específica y presión.

En Oceanología, la gravedad específica es equivalente con la densidad y representa la relación, a presión atmosférica, del peso de un volumen dado de agua de mar al peso de un volumen igual de agua destilada a 4°C.

La densidad del agua marina varía con la temperatura y con la salinidad y muy ligeramente con la presión; de todos los parámetros del mar el único realmente predecible es la presión, ya que ésta se incrementa con un aumento en la profundidad: una atmósfera por cada 10 metros de descenso. El término atmósfera se refiere a la presión ejercida sobre una superficie, a nivel del mar, por una columna de aire que se extiende hasta los límites exteriores de la atmósfera terrestre (cerca de 160 kilómetros). A nivel del mar el peso de tal columna de aire con una sección transversal de  $6.45 \text{ cm}^2$  (una pulgada cuadrada) es de 6.67 kg, es igual en peso, a una columna de mercurio de 76 cm de altura o a una columna de agua de cerca de diez metros de altura, es decir, aproximadamente un kilogramo por  $\text{cm}^2$  ( 1.034 kg); y ya que la mayor depresión oceánica registrada hasta hoy es de 11 kilómetros de profundidad la presión ahí es mil veces la presión atmosférica, es decir, una tonelada por  $\text{cm}^2$ .

Numéricamente la presión ejercida a cualquier profundidad por debajo de la superficie del mar, es una función del

peso de una columna de agua ( con un área de sección transversal unitaria) desde la superficie hasta esa profundidad, es decir: presión = densidad x profundidad x aceleración de la gravedad. De tal manera que la presión así considerada es igual a 0 en la superficie del mar, aunque está aún por supuesto la presión atmosférica (Ingmanson y Wallace, 1979).

A 20°C y presión atmosférica, con una salinidad de 35 o/oo el agua del mar tiene una densidad de 1.025. A las salinidades por encima de 24.7 o/oo la temperatura de máxima densidad cae por debajo del punto de congelación, debido a ello, el enfriamiento de la superficie del mar al punto de congelación no produce una capa superficial de agua ligera como sucede en el agua dulce, en donde la temperatura de máxima densidad es 4°C. En contraste con el agua dulce, el enfriamiento superficial del mar por debajo de 4 °C provoca que se incremente la densidad del agua de superficie y continúa el mezclado convectivo hasta el punto en que los cristales de hielo empiezan a separarse, consecuentemente no se forma una termoclina invernal en el mar como ocurre en lagos y estanques de agua dulce.

Aunque encontramos organismos marinos a todos los niveles de profundidad, cada especie está restringida en el intervalo de niveles que habita; así los organismos que viven en las capas superficiales mueren si se les sujeta a las elevadas presiones de los abismos marinos, y lo mismo sucede cuando se pretende traer a la superficie organismos de profundidad. Los efectos fisiológicos de la presión no están bien comprendidos pero sabemos que influye al protoplama en sus tasas metabólicas, y en el comportamiento de los organismos. No obstante encontramos especies denominadas euribáticas que pueden vivir desde la superficie hasta 5 kilómetros o más de profundidad ( Tait, 1972).

### Iluminación.

Comparada con la profundidad del océano, la luz no viaja mucho dentro de su volumen. La iluminación de las capas superficiales varía con el espacio, tiempo y las condiciones que dependen de la intensidad de luz que penetra la superficie y de la transparencia del agua, la fuerza de la luz incidente varía durante el día, con las estaciones y con la latitud.

En el ecuador se reciben cerca de 1,400 wats por metro cuadrado horizontal de superficie, mientras que a 80° latitud norte y latitud sur sólo se reciben cerca de 300 (Ehrlich et al., 1977). La variación en la incidencia es influida por las nubes y la absorción atmosférica, la que aumenta generalmente con el número de partículas. Gran parte de la luz incidente es reflejada de la superficie (albedo); se refleja más luz de una superficie agitada que de una en calma y por supuesto la reflexión se incrementa al ocultarse el sol, es decir al atardecer. Dependiendo de las condiciones, se refleja generalmente entre el 3 y el 50% de la luz incidente.

La luz que penetra la superficie es rápidamente absorbida, parte por el agua y sustancias disueltas pero con frecuencia principalmente por la materia suspendida, incluyendo los organismos plantónicos, el agua translúcida generalmente es indicativa de una población escasa de plancton. Los coeficientes de extinción, es decir, las tasas de decremento de la iluminación con la profundidad, varían de cerca de 1.0 a 0.1 entre áreas turbias costeras y áreas claras fuera de la costa; pero en aguas oceánicas excepcionalmente transparentes puede ser tan bajo como 0.02. Aun en aguas claras es absorbida cerca del 80% de la radiación total que entra a la

superficie dentro de los primeros diez metros, y en aguas más turbias la absorción es mucho más rápida; por lo tanto los efectos del calentamiento por radiación solar están -- confinados a una pequeña capa en la superficie, de acuerdo con MacIntyre (1974) más del 25% de la radiación solar es absorbida dentro de los primeros 30 mm de la microcapa superficial del océano. Se han determinado también las diferentes intensidades de luz relativas expresadas en porcentaje de la intensidad de luz inmediatamente por debajo de la superficie del mar:

profundidad (metros)	0	10	20	50	130	200
intensidad relativa (%)	100	9.5	3.7	0.31	$5 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-6}$

todos los valores son para el agua oceánica promedio (Groen et al., 1975).

La luz tiene una importancia biológica suprema ya que es la fuente de energía para el proceso fotosintético, de tal manera que la producción primaria de alimento en el mar está -- virtualmente confinada a las capas superficiales iluminadas -- en donde hay suficiente luz para sustentar vida vegetal. La profundidad de esta zona fotosintética o eufótica se extiende a unos 40-50 metros de la superficie en latitudes medias durante los meses de verano y a 100 metros o más en bajas latitudes si el agua está bastante clara. Por debajo de la zona -- eufótica hasta cerca de 200 metros está la zona disfótica, tenuemente iluminada en la que la luz es insuficiente para la sobrevivencia de las plantas; por debajo de los 200 metros se halla la llamada zona afótica debido a que hay poca luz o ninguna; no obstante en aguas tropicales claras, una pequeña cantidad de radiación azul penetra hasta por lo menos mil metros de profundidad (Tait, 1972).

La luz juega también un papel importante en la vida de las comunidades bentónicas, porque de ella depende la fotosíntesis de las algas ( arrecifes coralinos y costas) y la visión de los animales. Las algas parecen requerir de un óptimo específico de longitud de onda bajo la cual, logran una eficiente fotosíntesis, al parecer existe este óptimo también en relación con el tipo de pigmento que con tienen y que les permite adaptarse a ciertas profundidades.

Klugh, citado por Vegas (1980), encontró que el índice - fotosintético de Enteromorpha linza (Chlorophyceae) es mayor si la luz que recibe es roja, menor si es azul y aún - más pequeño si verde, que en Porphyra umbilicalis . --- (Rhodophyceae) en donde el índice es alto con luz roja pero bastante más elevado con luz azul y verde; y que en el caso de Delesseria sinuosa (Rhodophyceae) es casi igual con ambas - luces roja y verde y bastante más bajo con la azul; Gail, ci tado por el mismo autor, demostró que las algas se sitúan en aquella profundidad en la que su iluminación es óptima. En ciertas especies de animales se ha demostrado el fototac tismo (movimiento de un organismo animal ante una incitación luminosa) y el fototropismo ( respuesta o reacción de orien tación de un animal o vegetal al estímulo luminoso) tanto del adulto como de las larvas en el momento de fijación al sustrato ( Vegas, 1980).

### Corrientes.

Las principales corrientes oceánicas son generadas por el efecto combinado de la acción del viento sobre la superficie y las diferencias de densidad entre distintas partes del océano, éstas existen principalmente debido a las desigualdades de intercambio calórico entre la atmósfera y el - agua en diversas partes de la superficie del mar, y también, debido a diferencias en la evaporación y la dilución.

El curso que toman las corrientes está influido por la rotación de la Tierra y por la forma de los continentes y el piso oceánico, de tal manera que el agua marina está en constante movimiento proveyendo un medio casi uniforme para los organismos vivientes; este movimiento acelera el mezclado y los procesos de difusión para minimizar variaciones en la temperatura y la salinidad. Los procesos de circulación oceánica sirven también para dispersar organismos nadadores y flotadores y sus productos reproductivos; además de las corrientes estos procesos circulatorios comprenden: la acción de las olas, las mareas y los movimientos verticales del agua ( Sumich, 1980), el más importante de los cuales se conoce como surgencia y lo trataremos más adelante.

Las corrientes más fuertes se localizan en los bordes occidentales de los océanos: del Golfo, en el Atlántico - Norte; Kuroshio, en el Pacífico Norte; Agulhas, en el Sur del Océano Índico y la corriente Australiana Oriental en el Pacífico Sur; estas corrientes transportan agua a velocidades cercanas a 150 cm por segundo alejándola del ecuador y conduciéndola hacia un flujo más orientado al occidente, cerca de las latitudes 40° norte y sur. Corrientes menos rápidas fluyen hacia el ecuador en los bordes orientales de los océanos, alimentan las corrientes ecuatoriales y establecen los giros, patrones de flujo circular en las regiones subtropicales ( Holdgate et al., 1982), las principales son: Benguela en el Atlántico Sur, California en el Pacífico Norte, Perú o Humboldt en el Pacífico Sur y la corriente Australiana -- Occidental (Fell, 1975; Ingmanson y Wallace , 1979).

La evolución de poblaciones bentónicas puede deberse a que las capas de agua del fondo están en movimiento; estas poblaciones incluyen muchas formas vivientes adheridas a o embebidas en el fondo marino, y dependen del flujo de agua



que les lleva alimentos y oxígeno, y elimina sus desechos; están influenciadas también por la velocidad a la cual se mueve el agua del fondo debido a su efecto sobre la naturaleza de los sedimentos y el asentamiento de larvas pelágicas.

Las corrientes tienen una influencia directa sobre la distribución de muchas especies ya que las transportan de un lugar a otro, especialmente las más pequeñas formas -- holoplanctónicas. Muchas especies bentónicas y nectónicas también empiezan su vida con una fase planctónica y la dirección del rumbo que tomen sus huevos y larvas puede determinar de alguna forma sus áreas de colonización.

De acuerdo con Hasler (1960) y Harden (1968), citados por Tait (1972), las corrientes proveen probablemente medios de navegación para algunas especies. Debido a que diferentes comunidades de organismos se encuentran en regiones distintas del océano, es posible distinguir cuerpos particulares de agua no sólo por sus propiedades físicas y químicas sino también en cierta forma por sus poblaciones características. Las aguas que se mueven portan consigo una cierta variedad de planctones que pueden ser vistos como "botellas de deriva" naturales; y observando la distribución y mezcla de diferentes poblaciones planctónicas es posible trazar el movimiento y la mezcla del agua, de esta forma ciertos planctones grandes y fácilmente identificables, que son característicos de masas particulares de agua, sirven como indicadores de las mismas y de sus movimientos de circulación (Tait, 1972).

#### El Océano y la Atmósfera.

Los océanos constituyen una masa que es cientos de veces mayor que la masa atmosférica (SMIC, 1971), no obstante, la atmósfera impulsa la gran circulación oceánica y afecta fuerte-

mente las propiedades del agua de mar, de hecho, dice Wallace Broecker (1983), el océano y la atmósfera constituyen un solo sistema químico que funciona como una planta química integrada, a su vez, y en gran medida, la atmósfera debe su naturaleza a y deriva su energía de el océano mundial .

Desde luego hay pocos fenómenos de la oceanografía física que no estén dominados de alguna manera por la atmósfera, y existen a su vez pocos fenómenos atmosféricos para los que no sea importante el océano, por ello señala R. W. Stewart (1969), es difícil saber en qué punto iniciar la discusión de las interacciones entre atmósfera y océano ya que en cierta forma uno depende completamente del otro.

El sistema de vientos que prevalece en la atmósfera, transporta calor de las áreas que lo contienen en exceso, hacia aquellas que muestran déficit en este proceso; los vientos generan y mantienen: las corrientes jet, los vientos alisios, los eddies o corrientes migratorias de gran escala, los vientos orientales de superficie de las latitudes medias y los vientos superficiales occidentales de las latitudes polares; también responden de las nubes y precipitación pluvial, que son procesos incidentales asociados con el transporte de calor de bajas a altas latitudes.

No obstante, el sistema de vientos por sí mismo no es capaz de transportar las cantidades requeridas de calor. Las corrientes oceánicas transportan una cantidad de calor comparable a aquella transportada por los vientos.

Las temperaturas de superficie del océano, controladas por la mezcla turbulenta en los metros superiores del océano bajo la superficie, juegan un papel significativo para

determinar el intercambio de calor latente y sensible entre la atmósfera y el océano. Además el agua del mar almacena y transporta grandes cantidades de calor y reduce, por lo tanto, el gradiente latitudinal de temperatura y la amplitud de variación estacional de temperatura en la atmósfera. Más aún, los océanos proporcionan vapor de agua a la atmósfera y controlan el ciclo hidrológico del planeta; esta evaporación de agua de la superficie oceánica y su condensación en la baja troposfera - particularmente en el cinturón ecuatorial - provee una fuente de energía adicional para la atmósfera (SMIC, 1971).

Virtualmente en cualquier parte de la superficie oceánica y promediado anualmente, el océano es una fuente neta de calor hacia la atmósfera. Esta influencia oceánica está asociada con su enorme capacidad térmica; cada día la tierra absorbe del sol y reirradia al espacio exterior suficiente calor en promedio para elevar la temperatura de toda la atmósfera en casi  $2^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, la capacidad térmica de la atmósfera es equivalente a la de los 3 metros superiores del océano o bien a un pequeño porcentaje de los 100 metros o más del agua oceánica que es calentada en verano y enfriada en invierno. La mayor parte del océano, más del 95%, es tan profundo que el calentamiento superficial no lo penetra y su temperatura es independiente de la estación.

Comparado con la tierra, el océano se calienta lentamente en verano y se enfría lentamente en invierno, de tal manera que su temperatura es mucho menos variable que la de los continentes. Además, debido a que el aire tiene una capacidad térmica mucho menor cuando sopla sobre el agua, tiende a adoptar la temperatura de ésta más que la superficie del océano la de aquél; por esta razón los climas marítimos son mucho

más uniformes que los climas continentales. Es decir, el océano afecta la temperatura de la atmósfera más que lo que ésta lo afecta a él; el océano se enfría cuando cede su calor a la atmósfera.

En resumen, existe una fuerte retroalimentación entre ambos, los patrones atmosféricos determinan los flujos oceánicos, los que a su vez influyen en el lugar y la cantidad de calor liberado a la atmósfera. Más aún el sistema de flujo atmosférico determina la cantidad de cobertura nubosa que existirá en ciertas regiones del océano, y por lo tanto en dónde y en qué cantidad se calentará el océano con la energía solar incidente. Ya que ambos se encuentran acoplados de manera tan íntima, cualquier cambio en el clima acompaña usualmente cambios en la temperatura de la superficie del mar y viceversa ( SMIC, 1971).

Para los fines de la presente investigación, la interacción océano/atmósfera reviste particular interés, ya que los océanos pueden actuar como ambos: fuente y pozo de materiales que son transportados por la atmósfera.

Particularmente sobre una escala global, la atmósfera juega un importante papel como conducto de sustancias, tales como: compuestos de azufre, metales traza, polvo de los desiertos, materia orgánica y otras sustancias naturales o antropogénicas. Cerca de los continentes, el ingreso de materiales al océano vía los ríos puede ser mucho mayor para un compuesto dado que el ingreso por vía atmosférica, no obstante, lejos del masivo continental, en mar abierto, la atmósfera es la principal vía de transporte para muchos materiales que llegan a los océanos ( GESAMP, 1985a).

### El Océano Viviente.

La vida comenzó probablemente en el océano o en sus márgenes hace unos 3,500 millones de años; desde entonces, las primeras y más simples formas no dejaron de evolucionar hasta llegar a constituir en nuestros días los cinco reinos reconocidos por la ciencia: Animalia, Fungi, Monera, Plantae y Protista.

Una de las características más aparentes de la vida en el mar es su gran diversidad, a tal grado que, de los 42 phyla que comprenden los reinos antes señalados, en el océano no se encuentran todos con excepción del Phylum Bryophyta: musgos y hepáticas, y el Phylum Onichophora: gusanos segmentados con pares de patas terminadas en garras (Ingmanson y Wallace, 1979).

Esta gran diversidad no ha sido aún satisfactoriamente explicada por los científicos, empero, se han realizado estudios sobre algunos aspectos de las respuestas que los organismos presentan ante los cambios ambientales en el mar.

Al cambiar las condiciones en el ambiente físico a lo largo de un gradiente, tienden a cambiar también los organismos asociados, siempre y cuando el cambio no sea demasiado brusco, rápido o persistente ( ver capítulo II). En el mar encontramos por ejemplo una sensible variación en el diseño arquitectónico de los organismos con la latitud, el nivel de la costa, los sedimentos y la profundidad del agua. Identificamos dos factores principales que pueden responsabilizarse de la correlación arquitectura/medio ambiente:

- las características ambientales como temperatura y salinidad, que pueden determinar directamente las tasas de los procesos fisiológicos internos y por lo tanto imponer de manera directa restricciones a las formas.

- los organismos exhiben una amplia variedad de adaptaciones que toman ventaja de o disminuyen los efectos de su ambiente externo.

Algunas veces, la adaptación es una modificación en el diseño o el comportamiento, que suaviza el efecto potencialmente dañino de condiciones tales como: desecación, alta temperatura, tensión ejercida por las olas, tensión osmótica, etc. En otras ocasiones, un patrón geográfico o microgeográfico es mejor interpretado como un patrón adaptativo en relación directa no sólo con el gradiente físico, sino también con el medio biológico que rodea a los organismos. Las respuestas adaptativas particulares de las especies a lo largo de un gradiente físico dado, son dictadas por la naturaleza e intensidad de las interrelaciones biológicas como la competencia y la depredación, y por lo tanto, no pueden comprenderse cabalmente y no tenemos plena conciencia de su existencia.

Indudablemente la relación biológica más importante, y común en el océano, la constituye el flujo de energía en las diferentes comunidades marinas a través de la relación trófica, cadenas simples y redes complejas entre productores y consumidores que conforman la estructura biótica y funcional del ecosistema más amplio, constante y diverso del planeta. Las cadenas alimentarias nos remiten a la productividad y ello, en una perspectiva estrictamente humana, a las pesquerías y los recursos vivos del océano útiles al hombre.

#### Relaciones tróficas y productividad.

Toda la vida en la biosfera depende de tres factores fundamentales: agua, nutrientes y energía proporcionados en

disponibilidad suficiente y de manera constante. La energía que permea casi toda la vida en la Tierra proviene del Sol, a partir de ella y usando dióxido de carbono y agua, - los organismos fotosintetizan carbohidratos ricos en energía, además, usando nutrientes como nitratos, fosfatos, sulfatos y otras moléculas químicas estos productores sintetizan proteínas y grasas. Con la desintegración de azúcares obtienen ATP, sustancia que es la fuente principal de energía para todas las reacciones energéticas a nivel celular, una vez obtenida es usada por los organismos para llevar a cabo las funciones vitales de automantenimiento, crecimiento y reproducción. Estos organismos fotosintéticos en el océano comprenden : plantas en su mayoría y algunos protistas, bacterias y algas verdeazules. Los productores primarios sirven de alimento a los consumidores primarios herbívoros y omnívoros marinos; en su mayoría los herbívoros son protozoarios, aunque también encontramos una amplia variedad de animales como: copépodos, camarones y larvas de moluscos, principalmente miembros del zooplancton, uno de cuyos grupos más importantes es el de los artrópodos, animales con exo-esqueleto al que pertenecen los insectos, los cangrejos y los camarones. Los artrópodos marinos incluyen - un grupo muy importante, el de los copépodos, los que debido a su enorme abundancia han sido llamados los insectos del mar ( Issacs, 1969). Se reconocen cerca de 10,000 especies de copépodos o más que actúan no sólo como herbívoros, carnívoros y detritívoros sino también como parásitos externos e incluso internos; en el mar abierto viven cerca de 2 a - 3,000 especies de copépodos.

Otros artrópodos importantes son los eufáusidos, los - migradores verticales ( que siguen las poblaciones de --

fitoplanctón al variar la luz en la superficie) más fuertes del zooplanctón, componen los vastos cardúmenes de krill - en el Océano Antártico y constituyen uno de los principales alimentos de las ballenas filtradoras y de muchos otros organismos.

Además de los artrópodos el zooplanctón comprende: gusanos quetognatos, larvas de otros gusanos, medusas, ctenóforos, gasterópodos, pterópodos y heterópodos, flagelados no pigmentados, etc. (Issacs, 1969).

Los consumidores primarios son consumidos a su vez por otros consumidores carnívoros ( secundarios), entre los que se encuentran: gusanos, peces, anfípodos y ballenas filtradoras. Estos consumidores secundarios dependen, al igual - que los de tierra, de los productores para sobrevivir. Ambos grupos proveen compuestos orgánicos para el mantenimiento de hongos y bacterias marinas, los que descomponen el material orgánico de carbohidratos, proteínas y grasas, a sa les minerales inorgánicas; ambos, bacterias y hongos, son descomponedores de las comunidades marinas, de tal forma que tenemos un verdadero ciclo de nutrientes con productores - que proveen los compuestos que necesitan los descomponedores, y éstos los que requieren aquéllos.

La cantidad de compuestos orgánicos producidos fotosinteticamente que está disponible para una comunidad dada comprende la producción primaria neta ( PPN); de acuerdo a la estructura vertical del océano las plantas pueden fotosintetizar sólo a niveles superficiales, existe una zona llamada profundidad de compensación que es la profundidad por abajo de la cual no hay ya productividad primaria neta; a esta profundidad, la tasa fotosintética equivale a la tasa



de desintegración de materia orgánica o respiración vegetal y desintegración bacteriana, de tal forma que no hay acumulación de biomasa ( Ingmanson y Wallace, 1979).

En la provincia oceánica el fitoplancton comprende a los productores primarios; los grupos más importantes de acuerdo con el tamaño de sus poblaciones son: diatomeas, algas verdeazules, dinoflagelados y cocolitofóridos. Cerca de la línea costera, en la provincia nerítica, una amplia variedad de plantas forman parte de los productores primarios.

La síntesis continua de materia orgánica por todos estos organismos depende de un conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas interactuantes, de tal manera que su productividad y sus poblaciones se ven restringidas, ya sea debido a sus límites de tolerancia a ciertos factores ambientales o por la disponibilidad de sustancias para las cuales hay un mínimo requerido. Cualquier condición que exceda los límites de tolerancia o que no satisfaga las necesidades básicas materiales de un organismo, establece un tope al crecimiento ulterior de esa población. Los factores limitantes de mayor importancia para el fitoplancton son: luz, disponibilidad de nutrientes y el pastoreo de los herbívoros ( Sumich, 1980).

La cantidad de radiación solar que entra al mar y la extensión de su penetración, son factores principales que regulan la productividad primaria neta. La cantidad de luz solar incidente es altamente variable, ya que depende de parámetros relacionados como la cobertura nubosa, época del año, cantidad de partículas suspendidas en el agua, latitud

y turbulencia. Se ha estimado la eficiencia total con la que los organismos fotosintéticos son capaces de convertir energía solar en energía química, en 0.1 a 0.2% (Ingmanson y Wallace, 1979).

En aguas tropicales lejos del aporte sedimentario del continente, la profundidad de compensación calculada a medio día puede ser mucho mayor de 100 metros, mientras que en las aguas frías y oscuras de las altas latitudes no pasa de 50 metros. En ciertas condiciones de alta intensidad luminosa la fotosíntesis se estabiliza o incluso disminuye debido a la fotoinhibición, entre esta zona y aquella limitada por la luz aparece un sector llamado de intensidad luminosa de saturación en el cual la fotosíntesis no se incrementa más en proporción a una creciente intensidad luminosa; podemos decir que la maquinaria fotosintética de las células planctónicas está saturada con luz, en respuesta a ello, diversos grupos de plancton presentan adaptaciones especiales que les permiten un mejor desarrollo en éstas y otras condiciones de iluminación ( Sumich, 1980).

El viento mezcla las aguas superficiales y cuando los organismos fitoplanctónicos son llevados por debajo de la profundidad de compensación, disminuye la tasa fotosintética e incluso, si son llevados muy abajo, pueden morir. La tasa de fotosíntesis se incrementa generalmente al elevarse la temperatura del agua, pero la temperatura idónea depende de cada especie; aún si la intensidad luminosa y la temperatura son ideales para una especie en particular, debe haber también suficiente cantidad de nutrientes requeridos.

Algunas de las sustancias inorgánicas más importantes son: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y fósforo,

y por supuesto a ellos se añaden los micronutrientes o elementos traza de que ya hemos hablado. El carbono es tomado del dióxido de carbono atmosférico, al igual que el nitrógeno, a través del ciclo de que hemos hecho mención en el capítulo III y que se presenta nuevamente en el océano. Hidrógeno y oxígeno se encuentran en el agua de mar, y el azufre se precipita de la atmósfera como depósito seco o húmedo, (Manahan, 1984). En cuanto al fósforo, elemento vital para la vida, no presenta una etapa gaseosa en su ciclo, por lo que su reciclaje es lento, a través de la tectónica de placas de los sedimentos aportados por los ríos - (principales proveedores), o escaso, mediante las pesquerías y el guano de las aves marinas; el aporte cada vez mayor por obra humana, de fosfatos al mar, puede tener repercusiones insignificantes para el océano en su totalidad, no así para ríos, lagos y estuarios en donde provoca problemas de eutroficación importantes.

Las interrelaciones tróficas del fitoplancton marino y los pequeños herbívoros pueden ser muy complejas, el pastoreo puede disminuir la " cosecha en pie" y por lo tanto la productividad de una población fitoplanctónica, por otra parte, tal "pastoreo" o herbivorismo puede mejorar las condiciones de sobrevivencia total para el fitoplancton al reducir la competencia por los recursos y acelerar la regeneración de nutrientes ( Sumich, 1980). Otra característica importante de esta actividad ha sido puesta en relieve por Steele (1974); el fitoplancton de mar abierto es consumido casi tan rápidamente como se produce de tal forma que toda la producción vegetal en el océano pasa a través de los herbívoros.

Los animales que viven en el fondo marino dependen así más de las heces de los herbívoros que de un aporte vegetal directo para su alimentación, en contraste con menos del 10% del material vegetal que es comido "en vivo" en los ecosistemas terrestres, de forma tal, que casi toda la energía (90%) producida fotosintéticamente va a los descomponedores; de acuerdo con Crisp en 1964 citado por Steele (1974) esto resulta, en parte, del hecho de que las plantas terrestres requieren componentes relativamente incomestibles, como raíces y materiales rígidos de soporte: celulosa y ligninas, mientras que el fitoplancton de mar abierto no requiere de ninguna de las dos. Así en general la producción primaria terrestre es usualmente mucho mayor que la marina, mientras que la producción secundaria es - mucho menor (Steele, 1974).

Whittaker y Likens citados por Ehrlich et al., (1977) han estimado que la fitomasa total del planeta y su productividad primaria anual son:

	fitomasa	PPN
continental:	$1,840 \times 10^9$ TM p.s.*	$107 \times 10^9$ TM m.o.**/año
oceánica :	$3.9 \times 10^9$ " "	$55 \times 10^9$ " " "

\* peso seco      \*\* materia orgánica seca

La productividad del océano no es homogénea a través de toda su extensión, Ryther en un artículo publicado en --- Science en 1969, que ya se ha vuelto un clásico de la literatura ecológica marina, "Fotosíntesis y producción de peces - en el mar", divide al océano en tres grandes provincias de - acuerdo a su nivel de producción primaria:

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>	<u>f</u>
océano abierto	90	326	50	16.3	1.6	5
zonas costeras	9.9	36	100	3.6	120.0	3
áreas de surgencia costeras	0.1	0.36	300	<u>0.1</u>	<u>120.0</u>	1.5
				20.0 *	241.6	

- a) porcentaje que abarca del océano mundial  
 b) área en millones de kilómetros cuadrados  
 c) productividad promedio en  $\text{gr C/m}^2/\text{año}$   
 d) productividad total en  $10^9 \text{ TM/C/año}$   
 e) producción anual de peces y otros en  $10^6 \text{ TM}$   
 f) número de niveles tróficos promedio

Fuente: Ryther, 1969; Ehrlich et al., 1977

\* estudios posteriores a Ryther, en 1973 por Whittaker y Likens, han elevado esta cifra a  $24.8 \times 10^9 \text{ TM/C/año}$  tomando en cuenta lechos de algas y estuarios y puede considerarse como más precisa ( Sumich, 1980).

Como se puede apreciar en los datos, el océano abierto aporta de un 75 a un 81% de la producción vegetal total en el mar debido a su enorme extensión ( más de dos veces toda el área continental), no obstante podemos considerar esta zona como un " desierto biológico" ya que la productividad promedio es muy baja, lo que se refleja en la producción en peces y otros organismos,  $1.6 \times 10^6 \text{ TM}$  comparada con  $120 \times 10^6 \text{ TM}$  de las zonas costeras, que ocupan solamente una décima parte del área total, y las de las áreas costeras - de surgencia con igual producción de peces en un área mil veces menor; ello no debe extrañarnos ya que como hemos dicho la productividad depende de los nutrientes, en tanto que podemos considerar homogéneas para casi todo el ecosistema oceánico el agua y la luz solar, no obstante aquéllos se encuentran en mucho mayor proporción cerca de los continentes, debido a su aporte por las descargas de los ríos.

### Zonas de Surgencia

Existe un grupo de procesos mediante los cuales el agua subsuperficial o de fondo, fría y rica en nutrientes, es llevada a la superficie produciendo una elevada productividad, - se conocen colectivamente como surgencias; un tipo de éstas conocido como surgencia costera, es producido por los vientos que soplan y empujan las aguas superficiales del continente - hacia el mar abierto, al hacerlo, se crea un movimiento ascente de las aguas profundas que ocupan a las desplazadas de la superficie; las cuatro principales zonas de surgencia de este tipo se presentan en las corrientes de California, Perú, -- Canarias y Benguela; surgencias menores se presentan esparcidas a lo largo de muchas otras zonas costeras.

Otro tipo de surgencia es más limitado en extensión y - existe normalmente sólo en el Océano Pacífico central. La corriente pacífica ecuatorial fluye en dirección al occidente sobre ambos lados del ecuador, el efecto de Coriolis provoca un ligero desplazamiento a la derecha de la porción de la corriente en el hemisferio norte, mientras que la porción en el hemisferio sur es desplazada hacia la izquierda, la resultante divergencia del agua alejándose del ecuador, crea una surgencia de agua profunda de reemplazo.

Tal vez las mayores zonas de surgencia, se localizan al alrededor del continente antártico; en estas regiones, el agua que se hunde en el hemisferio norte, y fluye hacia el sur a media profundidad, surge a la superficie en el océano antártico trayendo consigo una acumulación de nutrientes de mil años. La extraordinaria fertilidad del mar aquí, contrasta con la aridez helada del continente, de tal forma que casi toda la vida antártica, ya sea terrestre o marina, depende de las cadenas tróficas sustentadas en esta surgencia masiva (Sumich, 1980).

A escala reducida se presenta también un patrón de surgencias en los estuarios, una porción del agua marina cargada de nutrientes que fluye al fondo del estuario se mezcla hacia arriba con el flujo menos denso del agua dulce superficial, esta surgencia sirve para abastecer continuamente los nutrientes vegetales utilizados por las poblaciones en crecimiento de los productores primarios estuarinos, dándole a este ecosistema particular un elevado valor de productividad. Además de los estuarios, otras zonas de las costas bajas y cenagosas como los manglares presentan una elevada productividad que atrae no sólo a peces, crustáceos y moluscos que conforman las dos terceras partes de la pesca mundial, sino también, a un gran número de aves a las que ofrecen alimento y abrigo; algunas de estas zonas constituyen las zonas pesqueras más lucrativas de la Tierra, sobre todo las de camarones ( UICN, 1980).

Las mejores zonas pesqueras se presentan sobre la plataforma continental a una profundidad de 100 a 200 metros, especialmente en el Atlántico norte y Pacífico norte y en las zonas de surgencia de costa señaladas, debido a que son aguas relativamente poco profundas en donde un rápido mezclado de la columna de agua permite un aporte constante de nutrientes para los productores primarios, base de casi toda la estructura trófica del océano.

Las principales pesquerías de ostras y otros moluscos, que en conjunto constituyen cerca del 10% de la captura total del mar, se encuentran en aguas inferiores, aquellas para los organismos demersales ( que viven cerca de o sobre el fondo) y para la mayoría de los peces pelágicos está por encima de la plataforma continental, y producen casi el 55% y el 30% de la captura mundial respectivamente; el restante 5% consiste principalmente de atún, cetáceos y otras especies capturadas en alta mar ( UNEP, 1976).

Un ambiente particular del océano , el mejor que se puede concebir para sus habitantes, creado por ellos mismos dice John D. Issacs, (1969), son las islas de coral y los arrecifes coralinos, que constituyen los ecosistemas más complejos del océano y acaso su diversidad y relaciones tróficas sean el equivalente marino de las selvas tropicales en tierra ( Connell, 1978).

Definidos en forma simple, los arrecifes coralinos son estructuras rígidas formadas en aguas cálidas y someras a partir de los esqueletos calcáreos remanentes de corales, algas coralinas y otros organismos ( Glynn, 1977). Los llamados verdaderos arrecifes coralinos (para diferenciarlos de bancos de coral de aguas profundas y de los corales solitarios antárticos) están limitados en su distribución geográfica a las aguas claras, cálidas e iluminadas de los océanos tropicales, y formados por los llamados corales hermatípicos ( del griego hérmatos, montículo); estos corales requieren de una temperatura del agua no menor de 16 a 20°C para formar arrecifes , ya que las altas temperaturas favorecen la precipitación del carbonato de calcio; esta condición limita su distribución a los mares tropicales y subtropicales entre los 30° latitud norte y sur; esta franja de corales que comprende unos 190 millones de Km<sup>2</sup> constituye unas de las regiones biogeográficas marinas mejor definidas ( Bolaños, 1981).

Los corales son claramente estenohalinos, en general no llegan a profundidades mayores de 60 metros, y requieren aguas agitadas pero claras, lo que probablemente asegura la llegada de alimento y evita el depósito de partículas minerales. En la costa del Pacífico latinoamericano y en la del Atlántico africano no hay arrecifes coralinos, tal vez por la formación de zonas de surgencia o la falta de un sustrato rocoso adecuado.



Se distinguen fundamentalmente tres tipos de arrecifes coralinos (Goreau et al., 1979; Sumich, 1980): arrecifes de franja o borde, arrecifes de barrera y atolones, aunque hay otros autores citados por Vegas (1980), como Pères (1961) que reconoce los arrecifes de plataforma, y Jones y Endan (1980) los de : meseta, tipo faro, microatolones, knolls y de parche.

Los arrecifes de franja o borde se forman muy cerca de la costa y están separados de ella por un canal poco profundo y tranquilo; el arrecife de barrera puede surgir a muchos kilómetros de la costa y forma un gran canal hasta de 100 metros de profundidad, navegable por embarcaciones de cierto calado. El Gran Arrecife de Barrera de Australia constituye con mucho la característica biológica particular más grande de la Tierra, ocupa un área de 128 mil kilómetros cuadrados, con 1,900 kilómetros de largo y 16 a 320 kilómetros de ancho, y profundidades en el canal que varían de 18 a 90 metros y un ancho de 1 a 100 kilómetros (Goreau et al., 1979). Finalmente, el atolón está constituido por una pequeña isla en forma de anillo irregular que rodea a una laguna central poco profunda que se comunica con el mar por varios canales, mientras que la costa exterior cae en talud.

El ecosistema arrecifal sustenta un gran número de plantas y animales, y de acuerdo con Whittaker y Likens (Whittaker, 1975) tiene la mayor productividad de la Tierra, 2,500 gr/m<sup>2</sup>/año en promedio, compartiendo esta cifra con los bancos de algas y superando a la selva tropical (2,200 gr/m<sup>2</sup>/año promedio). Esta alta productividad de las comunidades arrecifales es producto de la combinación de un sistema fotosintético estable, diferenciado por profundidad con medios de captura, conservación y reciclaje de nutrientes del agua oceánica.

Podemos decir que los arrecifes coralinos son islas de abundancia biológica, en medio de los mares tropicales con sus aguas cálidas y pobres en nutrientes ( Whittaker, 1975).

La diversidad de especies y la riqueza en formas y colores de los arrecifes es sorprendente. Solamente los mismos corales hermatípicos comprenden cerca de 700 especies en los Océanos Indico y Pacífico y 35 especies en el Atlántico ( Sumich, 1980). Aproximadamente una tercera parte de todas las especies de peces en la Tierra viven en los arrecifes de coral, en los del Caribe en las Islas Vírgenes se han registrado 73 especies, mientras que sólo en la parte norte de la Gran Barrera de Australia se han determinado mil especies ( Ehrlich, et al., 1977) . La masa principal del arrecife está constituida por Madreporaria que son capaces de formar un esqueleto calcáreo, a ellos se agregan : algas calcáreas ( especialmente Lithothamnion y Halimeda ) , Hydrocorallina (por ejemplo Millepora ) , Alcyonaria ( Heliopora y Tubipora ) , Polychaeta-Serpulidae, Bryozoa, Mollusca, Cirripedia y Foraminifera, además, hidrozooarios calcígenos y cangrejos, holotúridos, erizos y espongiarios, anélidos , tunicados, estrellas de mar y peces ( Vegas, 1980).

De este gran número de animales presentes y también de un número importante de plantas, surge una gran variedad de interacciones poblacionales: competencia, depredación y simbiosis de las que destacan: parasitismo, comensalismo (físico y nutricional), y mutualismo (facultativo o protooperación y obligado o interdependencia). El mejor ejemplo del mutualismo obligado, lo constituye la asociación entre el póliipo coralino y el alga zooxantela ( Bolaños, 1981), relación que según Glyn (1977), se originó probablemente hace unos 200 millones de años a mediados del período Triásico.

### El Hombre y el Océano.

Los usos tradicionales del ambiente marino por parte del hombre comprenden:

- explotación de recursos vivos ( pesquerías y otros)
- transporte
- disposición de desechos
- recreación
- asentamientos costeros

en las últimas décadas se han añadido:

- explotación de hidrocarburos en plataforma continental
- explotación de minerales en el fondo marino
- desarrollo costero múltiple: ubicación de termoeléctricas nucleares, instalaciones militares, etc.

algunas de estas operaciones son afectadas por la contaminación, mientras que otras, la provocan, algunas pueden existir sin interferencia, otras son mutuamente incompatibles ( GESAMP, - 1982a).

Pesquerías. - En un sentido amplio comprenden la explotación humana de cualquier forma de vida marina, incluyendo no sólo peces y mariscos pelágicos y demersales sino también, una amplia variedad de plantas ( pastos marinos, algas) y animales ( invertebrados y mamíferos marinos, GESAMP, 1982b).

Tal vez la mayor importancia del mar radica en la posibilidad de que sus habitantes pueden proporcionar, a la creciente población humana, una gran parte de las proteínas animales que requiere. Difícilmente encontramos en el océano un animal que no pueda ser comido por el hombre después de una adecuada preparación, no obstante, sólo utilizamos un pequeño número de todas las especies marinas.

De las más de 25 mil especies de peces que se conocen sólo capturamos de manera consistente unas doscientas, de los moluscos, como almejas y ostras, y de los crustáceos - incluyendo a los camarones, una cantidad aún menor ( -- Bardach, 1968).

La pesca es historia humana, es probable que los primeros homínidos que desarrollaron asentamientos en las -- márgenes de los ríos, en torno a los lagos y en las costas, hayan obtenido algún producto comestible del agua, sus métodos rudimentarios de captura no tenían la sofisticación mecánica, acústica y electrónica de nuestros días, ni disponían de la diversidad de implementos o de las grandes - flotas pesqueras de hoy, pero precisamente por ello, su actividad depredadora no perturbaba ni siquiera mínimamente la tranquilidad evolutiva de la vida marina.

Hoy en día hablar de pesca significa muchas otras - cosas para el ambiente marino, pero fundamentalmente signi- fica la probabilidad de extinción para los organismos -- oceánicos. La breve revisión que sigue sobre el estado ac- tual de los recursos marinos vivientes, señala no sólo a aquellos directamente considerados como un recurso econó- mico, sino también recursos que tienen un valor intrínseco (independientemente de que para un biólogo todos caen den- tro de esta última categoría) y no pueden ser medidos en términos económicos; la relación está basada fundamental- mente en un estudio realizado por el PNUMA en 1980 y no pretende ser comprensiva sino más bien discreta y descrip- tiva ( UNEP, 1980b).

Peces Comestibles: la captura de peces comestibles ha ve- nido creciendo en forma continua desde el fin de la Se - gunda Guerra Mundial:

1948	1953	1958	1963	1968	1973	1974	1975	1976	1977	1978
a	a	a	a	a						
1952	1957	1962	1967	1972						
19.4*	25.2	34.0	46.6	58.2	57.3	61.0	60.1	64.1	62.7	c.65

Fuente: GESAMP, 1982b \* en millones de toneladas métricas

1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
71.0	72.0	74.7	76.4	76.4	82.7	84.0

Fuente: FAO, 1985b; FAO, 1986a; FAO, 1986b.

Estas cifras muestran que el incremento total en la captura en estos treinta y ocho años ha sido de 433%, lo que parece ser una cantidad verdaderamente impresionante, no obstante, el incremento anual promedio hasta antes de 1969 fue de 7% y de entonces a 1978 sólo del 1 al 2 %, para recuperarse - después entre 1979 a 1985 en 3.4% en promedio; esto ha llevado a algunos investigadores a suponer que se pueden obtener capturas aún mucho mayores: Bardach ( 1968): 100 a 150 millones de TM, Holt ( 1969): más de 200 millones de TM, Ryther (1969) cerca de 100 millones de TM, Sumich (1980) : 150 a 200 millones de TM; no obstante 19 años después de la predicción de Bardach , la mejor estimación parece provenir del PNUMA ( 1980b): cerca de 90 millones de TM. Ello es debido, señala el mismo Programa, a que las oportunidades teóricas para incrementar la captura son improbables por -- tres razones principales:

- 1) las evaluaciones de las existencias están basadas sobre la dinámica poblacional de especies individuales y no toman en cuenta las interacciones poblacionales como la competencia por alimento entre especies que habitan la misma localidad.

- 2) la dificultad inherente al manejo de existencias - extremadamente variables con precisión suficiente para alcanzar máximas capturas
- 3) diversas existencias de las que podrían obtenerse grandes capturas por pesca están escasamente esparcidas, son de bajo valor o no son económicamente - atractivas (UNEP, 1980)

Además hay que tomar en cuenta los señalamientos de Ryther que en 1969 decía " la producción no es equivalente a la cosecha potencial". En primer lugar, el hombre debe compartir la producción con otros carnívoros superiores, tal y como sucede en la costa frente a Perú, en donde se calcula que las aves guaneras consumen unos 4 millones de TM/año, y los atunes, calamares, focas y otros depredadores otro tanto. Aunado a ello, se debe dejar de capturar una buena cantidad de organismos ( tal vez equivalente a la captura) para evitar su agotamiento y mantener el máximo rendimiento anual (Ryther, 1969).

De acuerdo con la FAO la composición y tonelaje de la captura mundial de los diez principales productos pesqueros en 1981 fue:

especies	millones de TM
arenques, sardinas y anchovetas	17.5
bacalaos, merluzas y abadejos	10.6
jureles, mujoles y escomberesócidos	8.0
escorpénidos, labinas y cangrios	5.2
caballas, robalos y peces espada	3.7
atunes, bonitos y peces vela	2.5
camarones y gambas	1.7
calamares, sepias y pulpos	1.3
almejas, berberechos y arcas	1.3
platijas, halibuts y lenguados	1.1
total	52.9

Fuente: Carroz, 1984

Mientras que las existencias de organismos no convencionales que tienen potencial considerable de explotación comprenden: krill, peces mesopelágicos, cefalópodos y otras especies de moluscos. Tan sólo del krill (Euphasia -- superba) se dice que su captura podría pasar de las 50 mil toneladas métricas de 1977/1978 a 60 millones o más de toneladas métricas, lo que duplicaría la actual captura total, este es uno de los casos típicos en que debemos recordar las recomendaciones de Ryther, ya que el krill es el principal alimento de cinco especies de grandes ballenas incluyendo - la azul y la jorobada, ambas amenazadas de extinción, además es muy importante para tres especies de focas, muchas especies de aves marinas y de peces ( UICN, 1980).

La captura de 1985 de acuerdo con los datos de la FAO (1986a) es verdaderamente excepcional mas no debe extrañarnos, ya que en los últimos años se ha optado por la captura de un buen número de organismos no tradicionales , que por cierto no constituyen parte directa de la alimentación humana sino que son convertidos en harina para dársela como pienso a los cerdos y a las aves de corral, que en promedio consumen anualmente el 30% de las pesquerías ( FAO, 1981; FAO, 1984a).

Lo que ha sucedido con las pesquerías tradicionales es exactamente lo contrario ya que, de acuerdo con un estudio de la FAO de mayo de 1979, que evaluó las 130 principales existencias pesqueras sobre una base regional en casi todo el mundo ( excepto el sector sur del océano cerca de la -- Antártida) reveló: 10 agotadas ( 25 de acuerdo con UICN, - 1980), 9 sobreexplotadas, 58 completamente explotadas, 27 - moderadamente explotadas, 12 ligeramente explotadas y 14 en otras categorías, es decir sin datos suficientes o variaciones en el nivel de explotación ( UNEP, 1980b).

### Sobreexplotación

En conjunto se ha calculado que el resultado de la sobreexplotación pesquera pasada y presente es que la captura mundial resulta menor en cerca de 20 millones de TM de lo que debiera ser si la pesca se realizase en forma prudente ( UICN, 1980).

La sobreexplotación se refiere al hecho de que la presión ejercida inicialmente sobre los adultos se continúa después sobre los organismos prerreproductivos (juveniles) o reproductivos ( en desove), lo que trae como consecuencia la reducción drástica de las poblaciones y por lo tanto el agotamiento del recurso (UNEP, 1976); es decir que el hombre se transforma en un depredador imprudente perturbando la población de presas hasta llevarla a la extinción. Los ejemplos de dicho comportamiento -- abundan en cuanto a cetáceos; ya es notorio también el agotamiento por sobreexplotación histórica del bacalao, arenque y pescadilla en el Atlántico norte; el caso más reciente y radical de pésimo manejo de un valioso recurso para el hombre, y de un brutal impacto biológico sobre diversas poblaciones de engraulidos y especies asociadas, lo constituye la llamada crisis de la anchoveta.

Engraulis ringens ( anchoveta peruana) es un típico pez clupeoide, pequeño, filtrador, que forma grandes cardúmenes en las áreas de surgencia costera en la corriente de Humboldt frente al Perú, su primer uso " comercial" fue indirecto, desde tiempos de los Incas el guano de las aves que se alimentaban de Engraulis fue utilizado como fertilizante. La explotación comercial de la anchoveta para su conversión como alimento comenzó en 1950, el año siguiente se produjeron 7,000 TM, para 1958 casi un millón de TM y en 1959 la cifra sobrepasó los dos millones; a partir de aquí la explotación pesquera fue explosiva alcanzándose



en 1970 la cifra récord en la historia de la pesca mundial, de 12.3 millones de TM, casi la quinta parte de la pesca total del planeta para ese año; al siguiente la captura descendió manteniéndose por encima de los 10 millones de TM, límite máximo de captura señalado previamente por los biólogos marinos ( Idyll, 1973). En 1972 la captura cayó bruscamente por debajo de 5 millones de TM. De acuerdo con la FAO la captura total peruana en 1982 fue de 3.4 millones de TM ( Carroz, 1984) y para agosto de 1986 aún no se recuperaba ( FAO, 1986a) y tal vez nunca lo haga ( Idyll, 1973). Durante años se ha culpado de tal disminución en la captura a dos factores:

- presencia de la corriente ecuatorial " El Niño"
- competencia de las aves guaneras

no obstante, los estudios realizados han demostrado que si bien las aves consumían una parte importante de los cardúmenes, esto se remonta a mediados de los años cincuenta en que la población de aves se acercaba a los 28 millones en 1956, pero al año siguiente, la presencia de "El Niño" redujo la población a sólo 6 millones de individuos y aunque hubo una posterior recuperación a 17 millones en 1964, la aparición de la corriente ecuatorial en 1965, redujo nuevamente los números a 4.3 millones y desde 1971 no se han recuperado ( Idyll, 1973; Sumich, 1980) a pesar de la ausencia de la corriente durante gran parte de los setenta.

Lo que sucede es comprensible, el recurso fue sobre-explotado una y otra vez entre 1966 y 1971 con un promedio de 10.5 millones de TM de capturas anuales y el resultado del impacto biológico sobre la estructura poblacional no se hizo esperar, el reclutamiento para 1972 fue de sólo el 13% del de un año normal, es decir, el más bajo jamás observado ( Idyll, 1973).

La perturbación en este caso, a diferencia de las selvas tropicales, no fue la destrucción del hábitat o la contaminación química directa que haya matado a los peces por intoxicación como se verá más adelante; aquí el impacto biológico consistió en una sobredepredación que incidió sobre la población en su conjunto no sólo de peces sino también de aves marinas y otros carnívoros que participaban de la misma red trófica.

Después de varios años de estudio de la dinámica poblacional en la zona, Robert Cushman, del Museo Americano de Historia Natural, había dicho en forma tajante: los pájaros y los pescadores son incompatibles en Perú, nadie escuchó su voz y la anchoveta peruana está a punto de incorporarse a otras pesquerías agotadas por la misma causa:

ballena azul antártica	1935
sardina del este de Asia	1945
sardina de California	1946
salmón del Pacífico noroccidental	1950
arenque del Atlántico norte	1961
bacalao del Mar de Barents	1962
ballena antártica de aleta	1962

otras pesquerías en las mismas condiciones son: atún y menhaden del Océano Atlántico, Pacífico e Indico; arenque, -- bacalao, perca, merluza y lenguado en el Atlántico norte, merluza y platijas del Mar del Norte y Mar de Barents -- (Ingmanson y Wallace, 1979).

Es cierto que en el caso de Perú la contracorriente ecuatorial de El Niño con sus aguas cálidas, desprovistas de nutrientes y de oxígeno, disminuyen la productividad; pero también es cierto que esta situación se viene dando desde tiempo inmemorial y, no obstante, en el momento en que el hombre empieza a intervenir la pesquería, ésta contenía casi 30 millones de TM de peces.

Debemos comprender, y el caso de la anchoveta peruana es un buen ejemplo, que la acción perturbadora del hombre contra las comunidades naturales del mar no debe ser de tal magnitud que las lleve al agotamiento y, probablemente, a la extinción ya que al hacerlo no sólo perjudicamos a los organismos directamente involucrados sino a una gran cantidad de organismos bentónicos cuya vida y sobrevivencia dependen de los cardúmenes de la superficie; una pesquería productiva y sostenida depende de diversos factores, pero fundamentalmente de la culminación con buen éxito de todas las etapas en los ciclos de vida de los peces y de los organismos asociados a ellos (GESAMP, 1984b).

Peces marinos de ornato (acuario): Filipinas exporta de dos a 3.5 millones de peces marinos para acuario cada año, y en 1974 Singapur importó para reexportarlos más de 39 millones de peces para acuario (marinos y de agua dulce). Es probable que se presente la sobreexplotación en los arrecifes accesibles, además con frecuencia, los métodos de captura dañan a los demás habitantes del ecosistema. Hay una carencia total de información científica sobre el comercio de estos organismos, especialmente a nivel local, en lo que respecta a la destrucción del hábitat y remoción continua de juveniles que pueden agotar permanentemente las existencias.

La mayoría de las poblaciones marinas son altamente -- fecundas y están ampliamente distribuidas, pero en aquellas de baja fecundidad que son colectadas para acuarios y otros usos, como tiburones y rayas, o bien, en aquellas especies indígenas de una cierta región, el efecto de la captura intensiva puede provocar a corto o mediano plazo drásticas -- caídas poblacionales.

Moluscos: muchas existencias de especies de moluscos, a nivel internacional, han sido fuertemente explotadas, por ejemplo, escalopas y un cierto número de ostras y mejillones han perdido su valor comercial merced a la contaminación. En muchas regiones tropicales diversas especies de moluscos de conchas coloridas son colectadas en forma masiva por sus cualidades estéticas y vendidas en el mercado turístico, debido a la naturaleza difusa, desorganizada de la colecta, es muy difícil el control de este comercio y es probable que grandes áreas de arrecifes accesibles sean desnudadas de su fauna de moluscos por esta vía, ya que gracias a los plásticos y al desarrollo del cultivo de ostras perliíferas éstos y otros moluscos se habían salvado de la extinción provocada por su conversión a botones, o adornos para las hembras humanas.

Crustáceos marinos: las principales áreas de expansión en las pesquerías recaen en el krill y los cangrejos rojos. Ya se han reportado muchas existencias de langosta, camarones y langostín como fuertemente capturados y algunas sobre explotadas.

Celenterados: comprenden diversas especies que han sido cosechadas desde la antigüedad para su uso en joyería, esta industria aún existe ( y tal vez con más fuerza que nunca) en el Mediterráneo y el Pacífico, estimaciones de sus beneficios han alcanzado los 5 mil millones de dólares (UNEP, 1980b).

Las principales especies cosechadas son los géneros - Antipather ( coral negro), Gerandia ( coral dorado), - Lepidistis ( coral bambú) y Corallium ( coral rosa); todas son especies de aguas profundas aunque en otras épocas el coral rosa se encontraba en aguas someras a sólo 10 metros

de profundidad, hoy en día mínimamente se encuentran a 70 metros. Algunas especies solamente se localizan a gran profundidad y para cosecharlas en las Islas Hawaii se han utilizado submarinos.

Otra área de creciente interés es la búsqueda de - compuestos biológicamente activos que pueden ser extraídos de organismos marinos y empleados en la industria farmacéutica, lo que podría conducir a una sobreexplotación de las especies más codiciadas.

Mamíferos marinos: todas las grandes ballenas tienen una larga historia de explotación por el hombre; hasta la fecha ninguna especie ha sido eliminada sólo por la actividad ballenera salvo, tal vez, la ballena gris del Atlántico norte. No obstante, hay un buen número de especies que se encuentran al borde de la extinción:

Balaenoptera musculus ( azul)

Eschrichtius robustus (gris)

Megaptera novaengliae (jorobada)

Balaena mysticetus ( Groenlandia)

y tres especies de ballenas francas: Eubalena spp ( en el Atlántico norte, Pacífico norte y sur en la región antártica).

Aún se permite la caza aborígen de la ballena de Groenlandia; las ballenas rorcual común, rorcual norteño y de - Bryde están protegidas en la mayor parte de las áreas que habitan. Al parecer la ballena gris se ha recuperado, la población en 1980 era ya de unos 15, 000 individuos, los esfuerzos de las flotas balleneras se dirigen ahora contra el cachalote ( Physeter cotodon) y la ballena minke; aunque ya se introdujo una importante restricción a los barcos/

factoría en la captura del cachalote, el problema hoy en día es la captura ilegal por barcos pirata. Ningún otro animal marino ha sido perseguido y cazado más implacablemente ni se encuentra en mayor peligro de extinción que la ballena; no sólo el animal más portentoso que la evolución haya producido en su historia, la gran ballena azul, sino también otras especies de cetáceos, incluyendo las marsopas y por supuesto los delfines.

En 1931 fueron capturadas casi 30,000 ballenas azules, para 1934 una gran flota ballenera japonesa se unió con otras de Inglaterra, Holanda y Países Escandinavos para perseguir a las ballenas en el Océano Antártico, y aun que poco después de terminada la guerra, 18 naciones se unieron para formar la Comisión Ballenera Internacional, que conservaría los recursos y desarrollaría métodos para determinar el mejor uso de las poblaciones de ballenas, la captura siguió su paso de manera poco planificada y desde luego poco inteligente. A principios de los sesenta el impacto biológico sobre la población de ballenas azules se hizo cada vez más aparente, ello se debió a las grandes capturas realizadas hasta entonces desde fines de la guerra hasta 1950, período en que se capturaron 7,000 ballenas anualmente. En 1952 la captura bajó a 5,000, en 1956 fueron atrapadas menos de 2,000, y en 1962 sólo se capturaron un poco más de 1,000; no obstante la radical disminución en el número, esto no detuvo a los balleneros, sólo cuando en la temporada 1963/1964 se cazaron en total 110 ejemplares, la Comisión empezó a tomar cartas en el asunto y finalmente de manera oficial se suspendió la captura en 1966, después de que sólo fueron capturadas 70 ballenas (Ingmanson y Wallace, 1979).

Si tomamos en cuenta que los ballenatos nacen a razón de uno cada dos años, después de una preñez que dura - en todas las especies de ballenas de 10 meses a un año - (salvo en el cachalote cuya preñez se extiende por 18 meses, Cagnolaro y Cozzi, 1985), y si consideramos que la madurez sexual se alcanza aproximadamente a los 10 años (De Sciara, 1985), comprenderemos el por qué de las drásticas reducciones poblacionales, ya que el hombre las ha cosechado como si se tratase de plantas anuales o de camarones y ello no es así.

Las mejores estimaciones en 1979 eran que había menos de 1,000 ejemplares de ballenas azules, y si a primera vista pensamos que este es un buen número de sobrevivientes, recordemos la inmensidad del océano. Los expertos consideran que si la población cae por debajo de 1,000 ejemplares, la probabilidad estadística del macho de encontrar una hembra en el momento oportuno (ya que aunque las hembras presentan ciclo ovárico poliestral, - los picos se dan en primavera y otoño, Cagnolaro y Cozzi, 1985) en la vastedad del Océano Antártico pudiera ser menor que la tasa de mortandad natural de la especie, es decir que es probable que la ballena azul constituya al presente una especie en extinción funcional (Ingmanson y Wallace, 1979). Y aunque al parecer nos aproximamos a la culminación de la caza de grandes ballenas, Noruega lo ha acordado ya, la URSS no cazará más en el Antártico en 1987 y Japón hará lo propio a partir de 1988 (Morris, - 1986); la matanza no-intencional de otros cetáceos continúa. Tan sólo en 1977 la flota atunera norteamericana que opera frente a las costas de Chile, Perú y Ecuador mató 41,000 delfines y marsopas (ballenas pequeñas), esta cifra es muy inferior a las matanzas masivas de años anteriores; en 1972 la misma flota destruyó más de ---

250,000 delfines, de 1967 a 1972 más de un millón, las cifras para 1973, 1974 y 1975 se consideran secretas aunque ahora se sabe que en estos años mataron medio millón. Se dice que a fines de los cuarenta se observaban grandes números de estos animales en el Pacífico suramericano, - hoy rara vez excede los cientos . Si consideramos nuevamente su reproducción, de acuerdo con Cagnolaro y Cozzi (1985) la gestación dura de 10 a 11 meses y el intervalo entre un parto y otro es generalmente superior a un año, se puede considerar que las hembras preñadas y las que crían viven parcialmente apartadas del resto del grupo y de acuerdo con ello no hay especie que pueda resistir, poblacionalmente hablando, el impacto biológico de la flota atunera norteamericana.

Por si todo ello fuera poco, hay otros animales marinos - todos ellos mamíferos- al borde de la extinción: la morsa del Atlántico norte, el Dugong de los mares tropicales, la nutria marina la que por cierto es muy sensible a los derrames de hidrocarburos, y diversas especies de focas cuya caza exagerada durante el siglo pasado redujo la población del Pacífico norte de 4.7 millones de ejemplares a sólo 125,000 a principios del siglo veinte; en años recientes las cifras han sido también elevadas - para las diez principales especies de focas, la captura entre 1965 y 1976 fue de 5,202,577, un promedio de 430,000 focas sacrificadas por año ( Ingmanson y Wallace, 1979).

Las tres especies de manatíes conocidas: la amazónica, caribeña y Africa Occidental, están todas seriamente amenazadas de extinción, la primera es completamente -- dulceacuicola y las dos restantes son de distribución marina y estuarina (UNEP, 1980 b ).



Aves marinas: un enorme número de especies de aves dependen total o parcialmente de la productividad marina para sobrevivir, además con frecuencia son directamente afectadas por la actividad del hombre en el mar, por ejemplo derrames petroleros, capturas accidentales, deterioro o destrucción de las zonas de anidación y alimentación por desarrollo costero, etc.

Hay cierto número de especies que son cosechadas en algunas regiones, comunidades isleñas o insulares, para las que las aves representan un valioso recurso. Existe un considerable cuerpo de conocimientos sobre los ciclos de vida y hábitos de muchas especies, de hecho puede decirse que son el grupo de organismos más estudiados. Tal vez por ello las medidas de conservación que se han tomado parecen ser muy efectivas; no obstante con el creciente uso del océano por parte del hombre probablemente serán sometidas a un riesgo creciente. Entre las especies de distribución predominantemente marina o costera que se encuentran en peligro están: albatros, petrel, pardelas, sulas, rabihorcadas, pájaros tropicales diversos, garcetas, garzas, patos, grullas, gaviotas, charranes, alcas, pingüinos, cormoranes y pelícanos ( UNEP, 1980b).

Reptiles marinos: las tortugas marinas han sido explotadas los dos últimos siglos. Las existencias que quedan son muy reducidas en comparación a sus números originales. Todas las especies están amenazadas parcial o totalmente. Las tortugas marinas han sido explotadas por su carne, piel, aceite, como curiosidades y por sus huevos. Se tiene conocimiento limitado en cuanto a su distribución, migración, apareamiento y biología alimentaria, lo que dificulta la formulación de un programa comprensivo de conservación.

Aunque en noviembre de 1979 se desarrolló una Conferencia Mundial sobre la Conservación de la Tortuga Marina y se produjo una Estrategia al respecto, se siguen cazando aún todas las especies. Además de la explotación directa de los huevos y adultos, son extremadamente vulnerables a la captura accidental en la pesquería del camarón, al deterioro de su habitat y a la perturbación/destrucción de sus nidos.

La declinación de las existencias es tal que es probable que las pesquerías subsistan sólo por unos años más. La tortuga común Caretta caretta pone entre 60 y 200 huevos en una hora, el desove ocurre en varias etapas y se realiza de dos a seis veces por estación ( Bruno, 1985). No obstante, esta alta fecundidad es a la vez causa de su extinción ya que los depredadores, principalmente el hombre, inciden sistemáticamente sobre los huevos, destruyendo así la posibilidad de que la población de tortugas se recupere; esta es una sobredepredación de las tortugas que incide directamente sobre los organismos prerreproductivos y por ello el impacto biológico resultante debe conducir a la extinción; si a ello añadimos que también los adultos son capturados es claro que no les queda mucho tiempo a las tortugas marinas en la Biósfera terrestre.

Diversas especies de cocodrilos son de habitat estuario o viven en pantanos costeros, todas han sido explotadas intensamente debido a la durabilidad de su cuero. La mayor parte de las existencias han sufrido fuerte declinación y todas las especies están en peligro. Desgraciadamente a diferencia de lo que sucede con las especies de agua dulce hay una gran carencia de información sobre las especies marinas y salobres.

Hay sólo un lagarto marino Amblyrhynchus cristatus o iguana marina de las Galápagos, y aunque la especie - está amenazada debido a la destrucción de sus nidos por cerdos y perros introducidos a las islas, su futuro cercano parece estar asegurado.

Las verdaderas serpientes marinas sólo se encuentran en la región tropical indo-pacífica. Un especie es predominantemente pelágica y se encuentra desde el Océano Índico hasta la costa oriental de América Central, Pelamis platurus o serpiente marina de vientre amarillo. Las demás especies son de distribución indo-australiana; existe poca información sobre el grupo pero se sabe que diversas especies son fuertemente explotadas en las Filipinas por su piel y su carne.

Plantas marinas: entre las diversas plantas del océano mundial, las macro-algas de las regiones costeras tienen un valor local como fuente de alimento en países de Asia, -- principalmente: Japón, China e Indonesia. En otros países, Estados Unidos y Gran Bretaña, algas como Ascophyllum, -- Laminaria, Chondrus y Gelidium proveen la materia prima para la manufactura del agar. Las malezas marinas son utilizadas como fertilizantes, comida animal y fuente de tóxico; a escala global las malezas no han sido grandemente explotadas y sólo en algunos países como Filipinas se han reportado lechos agotados debido a la intensa cosecha de que son objeto. Estos pastos marinos habitan en zonas de intermareas y pueden ser fuertemente afectados por la contaminación. En lugares en donde ha habido derrames de petróleo, tanto el aceite en sí como los detergentes usados para "limpiarlo" tienen efectos adversos sobre las algas ( UNEP, 1980b).

### Transporte:

El transporte ha ejercido desde la antigüedad una influencia fundamental en la evolución de las civilizaciones ( PNUMA, 1980b). El océano es de gran importancia para la humanidad como vía de transporte, las rutas oceánicas son dadas naturales, su capacidad de tráfico es por lo general ilimitada, y en este sentido, se asemeja a las vías aéreas ( Voronov et al., 1979).

Una peculiaridad de primordial importancia para el funcionamiento del transporte marítimo consiste en que la esfera en la que funciona, las aguas oceánicas que cubren la superficie del globo, constituyen a la vez un espacio único y cerrado, ello explica que la red de rutas marítimas pueda desarrollarse prácticamente sin límites. Se puede tender una ruta marítima hasta cualquier punto del océano mundial, estas rutas abiertas permiten la circulación de cualquier número de buques en cualquier dirección (Sálnikov, 1984).

El dominio del océano como medio de transporte ha adquirido en nuestros días gigantescas dimensiones ya que los mares y océanos no sólo separan continentes y países sino que, al ser el medio natural más cómodo para el transporte, los vincula sólidamente mediante un incesante tráfico de cargamentos que crece año con año (Voronov et al., 1979). En 1954 por ejemplo, la flota mundial de buques cisterna se componía de algo menos de 3,500 buques que totalizaban 37 millones TM p.m\*. En 1977 el tonelaje ascendía ya a 340 millones TM p.m.

---

\* toneladas métricas de peso muerto.

Una de las características de esta expansión ha sido el gran aumento en el tamaño de los buques, en 1954 el más grande era de cerca de 30,000 TM p.m.; en la actualidad - hay varios buques de más de 500,000 TM p.m. ( PNUMA, 1980b).

Los efectos ambientales del transporte se manifiestan en muchas formas pero provienen especialmente de:

- la creación de infraestructura, construcción de puertos y carreteras de acceso y servicios conexos. Los nuevos puertos marítimos se construyen con frecuencia en zonas costeras valiosas tanto por su flora y fauna silvestres como por sus posibilidades recreativas
- construcción y funcionamiento de barcos, terminales fuera de costa e islas artificiales para recibir a los grandes buques ( GESAMP, 1982b)
- calidad y volumen de la carga transportada, ya que la creciente industrialización del mundo ha conducido al transporte de cantidades cada vez mayores de petróleo, gas licuado, productos petroquímicos, productos químicos tóxicos y materiales radiactivos, lo que ha contribuido en cierta forma al aumento de derrames importantes de petróleo y otros en el mar en forma accidental pero igualmente nociva para la vida oceánica.

El transporte marítimo y sus operaciones asociadas - constituyen uno de los principales usos del océano en términos económicos, produciendo sólo en 1975 un rédito de -- cerca de 40 mil millones de dólares, cantidad considerablemente mayor que las pesquerías y comparable a la industria petrolera extractiva de plataforma continental. (GESAMP, - 1982b). Ello es producto del duplicamiento en tonelaje de

la flota mercante mundial, en un período récord de 10 años que culminó precisamente en 1975. De este tonelaje (675 millones de TM p.m.) los buques tanque petroleros comprendieron el 40%, para 1985 la cifra eran: tonelaje total de la flota comercial mundial: 395 millones, tonelaje de la flota de buques tanque 270 millones correspondiente al 68.35% de la flota mundial (Ewart, 1986; Ferrier, 1986).

En 1970 se transportaron 1,260 millones de TM de petróleo por mar, y para 1975 la carga se había elevado a 1,500 millones, cifra que hasta la fecha no ha variado mucho. Como resultado de estos incrementos, tanto en el número de buques como en el volumen de carga y en las operaciones portuarias y otras correspondientes, no se hizo esperar también un incremento en el número y volumen de derrames en el mar. De acuerdo con la Organización Marítima Consultiva Intergubernamental (OMCI), citada por Holdgate et al. (1982), los principales derrames reportados durante la década de los setenta fueron:

año	núm. de incidentes	vol. derramado TM
1970	11	212,120
1971	4	121,250
1972	1	65,000
1973	3	58,000
1974	2	61,000
1975	6	123,000
1976	8	150,600
1977	6	134,500
1978	5	264,000

es decir, que en sólo nueve años hubo 46 grandes derrames (no se incluyen derrames de menos de 5,000 TM) por la cantidad de 1,189,470 TM, un promedio de 132,000 TM/año. En realidad la cifra es mucho mayor debido a los derrames pequeños, menores de 5,000 TM, y a que en los datos anteriores probablemente no se tomaron en cuenta todos los derrames.

De acuerdo con la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos ( 1975), citada por Holdgate et al., (1982) , las fuentes por las que entra petróleo al marson:

transporte marítimo  
 producción petrolera en plataforma continental,  
 refinerías costeras  
 desechos industriales  
 desechos municipales  
 escurrimientos urbanos  
 escurrimientos fluviales  
 filtraciones naturales  
 precipitaciones atmosféricas

las estimaciones del ingreso varían, en 1970 el Reporte sobre el Estudio de Problemas Ambientales Críticos ( - EPAC) del Instituto Tecnológico de Massachussets dio -- 11.08 millones de TM ( SCEP, 1970); en él se consideraban 9 millones de TM a partir de fuentes atmosféricas; en 1973, la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos: 6.11 millones de TM ( atmósfera incluida, Holdgate et al., 1982); en 1979 se hablaba de 2.30 a 4.80 millones de TM para 1980 sin tomar en cuenta las precipitaciones - atmosféricas (Salnikov, 1984); y en 1982 el PNUMA señalaba que el total de petróleo en el medio marino a partir de todas las fuentes indicadas va de 2 a 20 millones de TM/año, considerando un valor promedio reciente de 6 millones de TM delcual aproximadamente una décima parte proviene pro bablemente de la atmósfera (GESAMP, 1982b).

Independientemente de la cifra precisa, lo cierto es que cada año se vierten en los océanos millones de toneladas métricas de petróleo y de sus derivados, y ello es - producto del ingente tráfico de buques cisterna que ---

transportan el combustible de las regiones productoras a las consumidoras. Obviamente a mayor tráfico marino mayor cantidad de petróleo derramado, entre 1975 y 1978 se efectuaron más de diez mil observaciones sobre el particular, concluyéndose que los derrames más importantes ocurrían, en efecto, a lo largo de las principales rutas seguidas por los buques tanque del Medio Oriente a Europa y Japón, y entre Venezuela y Europa. Las regiones más contaminadas eran el Mar Rojo, el Estrecho de Malaca, el Mediterráneo, el Caribe y el sur del Mar de China.

En el Atlántico las aguas más contaminadas están en las zonas tropical y subtropical, entre los 10 y 50° lat.N. En el hemisferio sur, las más contaminadas son aquellas en rededor del sur de Africa; sólo en 1977 pasaron frente al Cabo de Buena Esperanza 650 millones de TM de petróleo -cerca del 38% del total transportado por mar en el mundo-, se estima que en esta región se liberan al mar cada año entre 60 y 600 mil TM ( Holdgate et al., 1982).

En 1979 hubo un total de 1,009 accidentes de buques cisterna comprendiendo: 467 en el mar, 326 en puertos y 216 en aguas interiores ( Salnikov, 1984). Algunos de los derrames más importantes de los últimos años como consecuencia del transporte en buques cisterna y perforación de plataforma continental son:

- el 9 de agosto de 1974, el buque Metula con 197 mil TM de petróleo saudita encalló en el Estrecho de Magallanes, liberando al océano y las plataformas 50 mil TM de petróleo crudo y 2 mil TM de combustible.



- a fines de enero de 1975, el petrolero Jacob - Maersk varó entrando al puerto de Leixoes en Portugal, liberando 55 mil TM de petróleo.
- el 12 de mayo de 1976, el superbuque Urquiola con 100 mil TM de petróleo persa, embarrancó - entrando al puerto de La Coruña en España, liberando 90 mil TM del combustible, 30 mil de las cuales se esparcieron a lo largo de 160 kilómetros de la línea costera
- el 22 de abril de 1977, el pozo Ekofish explotó en el Mar del Norte escapando cerca de 20 mil TM de petróleo, de las cuales aproximadamente - 9 mil se esparcieron sobre un área de 6 mil Km<sup>2</sup> de superficie
- durante la noche del 16/17 de marzo de 1978, se presentó el más grave accidente a barco alguno, cuando el gigantesco tanquero Amoco cadiz encalló a casi 2 kilómetros del puerto de Portoll - en Brittany, durante 14 días se liberaron al mar 200 mil TM de petróleo y quedaron contaminados - 300 kilómetros de costa ( El-Hinnawi y Hashmi, - 1982).

sin embargo, la mayor catástrofe petrolera se dio a partir del 3 de junio de 1979 y hasta el 23 de marzo de 1980 en el pozo Ixtoc I en la plataforma continental mexicana en el Golfo de México, durante los 290 días que duró el siniestro se liberaron al océano 475 mil TM de petróleo, de acuerdo con los datos oficiales proporcionados por Petróleos Mexicanos ( Jernelov y Lindén, 1981).

Otra fuente importante de escurrimientos petroleros y otros hidrocarburos al océano lo constituyen los sistemas de propulsión de todas las embarcaciones marinas a excepción de aquellas impulsadas por el viento o la energía nuclear, comprendiendo tanto las flotas de comercio y recreación como las militares de todas las naciones.

#### Vertedero de desechos:

Desde tiempo inmemorial el hombre ha vertido desechos al océano, primero en forma de heces fecales y desechos orgánicos varios que de los ríos eran conducidos al mar. La cantidad de tales desechos era mínima frente al ingente volumen de agua del océano, su calidad biodegradable, es decir, que los organismos marinos se encargaban de su reducción a los elementos originales; ello aunado al pequeño número de humanos que habitaban el planeta hizo -- pensar al hombre que el océano podía ser el vertedero universal " la cloaca mayor" ( Brown, 1982).

Los desechos eran rápidamente desintegrados y no se observaban cambios sustanciales en las poblaciones de los organismos marinos con los que el hombre tenía relación, ni suciedad en las aguas costeras o en las playas. Todo ello empezó a cambiar hace unos doscientos años cuando los productos de la Revolución Industrial empezaron a manifestarse en las vías acuáticas de Inglaterra, y la Revolución Agrícola de la época, junto con la creciente industrialización, empujó los números de la población humana hacia arriba. Desde entonces el proceso no se ha detenido y hoy en día -- la población crece de manera sostenida a una tasa aproximada de 80 millones de habitantes más que se suman a la Biósfera cada año, sus desechos se han vuelto aparentes en --

muchas playas del mundo y los productos de su desarrollo tecnológico aparecen por todas partes contaminando el océano.

La contaminación marina se presenta en su mayor parte en base a las mismas sustancias preexistentes en el agua de mar, sólo que ahora en mayor cantidad, otra porción la constituyen sustancias desarrolladas por la química industrial del hombre y son extrañas y altamente tóxicas para la vida marina. Si de acuerdo con Athelstan Spilhaus de la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos definimos en general a la contaminación como " cualquier cosa animada o inanimada que debido a su exceso reduce la calidad de lo viviente", entonces coincidiremos en que la palabra clave hablando de contaminación es precisamente exceso .

El océano contiene de por sí vastas cantidades de sedimentos, sales, metales en solución, petróleo y una amplia diversidad de materiales orgánicos producto del ciclo de vida y metabolismo de la gran comunidad oceánica. Es indudable que el océano mundial puede tolerar aún cantidades importantes de estas sustancias pero ¿ cuánto más y en dónde? esa es nuestra pregunta y desafío ( Bascom, 1974).

Estoy convencido dice Thor Heyerdahl que el hombre de nuestro tiempo ha sobreestimado el tamaño de los océanos y ha desestimado su importancia para la vida de este planeta; si dejamos de contaminar un río o un lago, con el tiempo el agua que fluye hacia el mar lo limpiará, pero los océanos no tienen salida al mar ( Clarke y Palmer, 1983); la escalada de la actividad humana es tal hoy en día, que es posible que estemos dañando los océanos de manera

irreversible ( Brown, 1982), y no podemos olvidar que un deterioro en las condiciones del océano puede resultar en el fin de la vida sobre nuestro planeta; tenemos evidencias suficientes de que la actividad humana vierte cantidades sin precedente de materiales, incluyendo sustancias venenosas, en el corazón mismo de este gigantesco sistema mantenedor de la vida ( Kullenberg, 1984).

No debemos olvidar dice Jacques Cousteau que todos los contaminantes de la Biosfera terminan en el océano, ya sean contaminantes atmosféricos, pesticidas vegetales, calor o partículas radiactivas, todo termina en el océano mundial ( Clarke y Palmer, 1983).

Recientemente se han obtenido indicios de que la capacidad del mar para absorber desechos tiene límites y que el océano no puede ser considerado como una entidad aislada ni como un vertedero infinito ( Kullenberg, 1984). Debemos ver al océano como un recurso más de la Tierra, y por ende limitado, un recurso que debe ser usado con inteligencia y cuidado y debe ser empleado en beneficio de la humanidad, preservando a la vez la rica biota marina, y no como feudo y botín de unos cuantos.

Si manejamos con cuidado este gigantesco y único recurso podrá satisfacer nuestras demandas por tiempo indefinido, asimilando paulativamente nuestros desechos domésticos e industriales, a la vez que nos transporta, alimenta y recrea enriqueciendo la vida humana en más de un sentido (UNEP, 1976).

La mayor parte de los materiales de desecho de la sociedad contemporánea se generan en tierra y son llevados al océano mediante tres vías principales:

- descarga de los ríos
- transporte atmosférico seguido de lavado o lluvia
- descargas costeras a través de tuberías

una cuarta vía la constituyen los materiales arrojados intencionalmente, o no, al mar por embarcaciones de todo tipo (UNEP, 1976).

La descarga de los ríos es muy importante. y se realiza como las otras dos en primera instancia en la zona costera, ya que la atmósfera lleva los materiales hasta el océano abierto. Recordemos que las aguas de costa, que van hasta el borde de la plataforma continental, constituyen solamente el 10% del área oceánica total, pero junto con las de surgencia proveen el 99% de las pesquerías del mundo, de ahí que exista una gran preocupación por la contaminación que en ellas se desarrolla debido a que son las áreas más intensamente utilizadas por el hombre -- (Kullenberg, 1984).

En términos de protección de los recursos marinos vivos, y esta es una consideración vital en el control de la contaminación, es obvio que debemos dar atención primaria a las regiones costeras, en donde se localizan importantes ecosistemas: estuarios ( sistemas de transición), - praderas de fanerógamas marinas, lagunas costeras, manglares, llanuras inundables y arrecifes de coral ( UICN, 1980; GESAMP, 1980a). El control de la contaminación en estas aguas puede aliviar, o por lo menos retardar, la contaminación global de los océanos ( UNEP, 1976).

De acuerdo con el GESAMP la contaminación marina se define como: " la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o energía en el medio marino

( incluidos los estuarios) que causa efectos perjudiciales tales como daño a los recursos vivos, peligros para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas, incluida la pesca, el deterioro de la calidad de uso del agua de mar, y la reducción de los atractivos naturales" (GESAMP, 1984a).

Esta definición implica que la contaminación marina es causada por la introducción en el medio ambiente oceánico - de sustancias y energía que tienen efectos adversos, que -- puede relacionarse a sus fuentes, y que las sustancias contaminadoras son dispersadas a través del medio marino por diferentes procesos. Considerando que este medio incluye estuarios, aguas costeras y mar abierto ( GESAMP, 1982b), insistimos empero, en los ecosistemas estuarinos porque constituyen una de las primeras áreas acuáticas que sucumben al impacto biológico, por ejemplo, las especies de peces anádromos, que son particularmente sensibles a la contaminación, son con frecuencia los primeros recursos pesqueros en desaparecer; y es precisamente de las zonas costeras de donde - hemos tenido las primeras señales de alerta sobre la perturbación del mar por contaminación.

Fue de la Bahía de Minamata en Japón de donde surgió - la llamada de atención sobre el mercurio en el agua de mar y sus efectos deletéreos para la salud humana; de Japón nos enteramos también de la dolorosa enfermedad itai-itai provocada por una elevada ingestión de cadmio, y en 1968 la - contaminación accidental de alimentos por difenilos policlorados ( DPC) condujo en el mismo país a una enfermedad de la piel tipo-cloracné complicada con parálisis, fatiga, dolor muscular, perturbaciones visuales y vómitos, que afectó a 5,000 personas.

Las consecuencias de los desechos industriales para las poblaciones acuáticas, de agua dulce y marina, fueron exhibidas en varias formas durante los sesenta en el Río Rhin, su estuario y la plataforma del Mar Báltico; los efectos de las aguas negras sobre el contenido de oxígeno del agua se conocieron en el fiordo interior de la ciudad de Oslo en donde durante largo tiempo se arrojaron sin ningún tratamiento; de los derrames de petróleo en costas hemos hablado ya anteriormente. Puede decirse que mucho antes de que el océano abierto presente un grado -- peligroso de contaminación, el medio ambiente costero en muchos lugares se habrá vuelto intolerablemente contaminado ( UNEP, 1976). El impacto de las muchas actividades que afectan la zona costera es creciente, y sus efectos nocivos pueden ya detectarse en la perturbación local del habitat. El medio ambiente marino de la zona costera es vital para la humanidad a escala tanto regional como global ( GESAMP, 1982b).

Se estima que entre 0.5 y 12.6 millones de TM de petróleo y sus productos, cerca de 5,500 TM de mercurio, 27,800 TM de D.D.T. y 650,000 TM de plomo, entre otros contaminantes, son introducidos en las aguas oceánicas cada año ( UNEP, 1980b). La contaminación por petróleo de la plataforma continental y la presencia de pesticidas en estuarios y aguas costeras se ha vuelto global. Si se permite que procedan como hasta ahora las actividades contaminantes en el mar, sin un control estricto y efectivo, se arruinará el medio ambiente natural, sano, limpio y biológicamente productivo de los océanos, convirtiendo eventualmente las cuencas oceánicas en tazones de una espesa sopa de desechos humanos ( UNEP, 1980b).

( incluidos los estuarios) que causa efectos perjudiciales tales como daño a los recursos vivos, peligros para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas, incluida la pesca, el deterioro de la calidad de uso del agua de mar, y la reducción de los atractivos naturales" (GESAMP, 1984a).

Esta definición implica que la contaminación marina es causada por la introducción en el medio ambiente oceánico de sustancias y energía que tienen efectos adversos, que puede relacionarse a sus fuentes, y que las sustancias contaminadoras son dispersadas a través del medio marino por diferentes procesos. Considerando que este medio incluye estuarios, aguas costeras y mar abierto ( GESAMP, 1982b), insistimos empero, en los ecosistemas estuarinos porque constituyen una de las primeras áreas acuáticas que sucumben al impacto biológico, por ejemplo, las especies de peces anádromos, que son particularmente sensibles a la contaminación, son con frecuencia los primeros recursos pesqueros en desaparecer; y es precisamente de las zonas costeras de donde hemos tenido las primeras señales de alerta sobre la perturbación del mar por contaminación.

Fue de la Bahía de Minamata en Japón de donde surgió la llamada de atención sobre el mercurio en el agua de mar y sus efectos deletéreos para la salud humana; de Japón nos enteramos también de la dolorosa enfermedad itai-itai provocada por una elevada ingestión de cadmio, y en 1968 la contaminación accidental de alimentos por difenilos policlorados ( DPC) condujo en el mismo país a una enfermedad de la piel tipo-cloracné complicada con parálisis, fatiga, dolor muscular, perturbaciones visuales y vómitos, que afectó a 5,000 personas.



El mayor peligro a largo plazo de la contaminación es su posibilidad de alterar el equilibrio ecológico de los océanos, de tal manera que se destruyan las actuales relaciones alimentarias y se reduzcan radicalmente las poblaciones de la todavía hoy rica comunidad oceánica, además de la extinción masiva que el impacto biológico puede generar a corto o largo plazo debido a la introducción de productos exóticos al mar, y como resultado de la misma las pesquerías dejarán de ser económicamente rentables para el hombre y la humanidad perderá una rica y sostenida fuente de proteínas en el momento histórico, de rápido crecimiento poblacional, en que más lo necesita (Schachter y Serwer, 1971).

#### Fuentes de la contaminación marina:

Podemos dividir la contaminación en antropogénica y "natural", no obstante esta última por ser parte del mismo proceso de evolución del planeta no la incluimos aquí como tal. De la contaminación producida por el hombre hay tres fuentes principales:

- 1) tierra firme o costa, los principales contaminadores son: industria, producción de energía, servicios municipales, comercio, sanidad, transporte terrestre, actividades forestales, agricultura y ganadería
- 2) actividades marítimas: asentamientos, pozos petrolíferos y oleoductos, construcciones navales diversas, carenaje, buques mercantes y de guerra con motor diesel o impulsados por energía atómica; de los primeros tenemos buques cisterna y combinados, para carga a granel, para viajeros

y transbordadores, de caza y pesca, especiales auxiliares para zonas particulares, por ejemplo árticas; de guerra serían dos grandes grupos: de superficie y submarinos

- 3) transporte aéreo proveniente de todos los anteriores

los conductos principales a través de los cuales las fuentes hacen llegar al océano los contaminantes comprenden a su vez también tres grupos:

- 1) lanzamiento directo, soterramiento premeditado (desechos de roca, de la producción y otros desechos); transporte fluvial, transporte por agua desde bases de transbordo o abastecimiento, o desde puertos; desechos de explotación, aguas de lastre, aguas de lavado, residuos de cargas y combustibles, aguas de bodega, aguas de alcantarilla de a bordo, basura; lanzamiento de avería en caso de: encalladura, colisión, trasiego o escape de carga o combustible, averías de tormenta, incendios y explosiones.
- 2) traslado por las corrientes: difusión
- 3) traslados atmosféricos, arrastre glacial, desagüe, procedentes del fondo marino

Los principales contaminantes introducidos al océano son:

- materiales radiactivos
- materias inorgánicas y metales pesados
- tóxicos y otros productos químicos orgánicos
- detergentes
- aguas de alcantarillado municipal y otros desechos con elevado índice de demanda bioquímica de oxígeno (DRO)

- petróleo y derivados
- desechos de la industria bélica del ejército, - fuerza aérea y naval
- basura dura
- desechos de roca y otros
- aguas calentadas
- campos eléctricos, magnéticos, acústicos y otros

Los principales daños causados por la contaminación son:

- daño a los organismos marinos y sus ecosistemas
- peligro para la salud humana
- impedimento para la actividad del hombre en el mar
- pérdida de valores estéticos

( FAO, 1971; GESAMP, 1982b; Sálnikov, 1984)

El daño a los organismos marinos se da a través de diversos caminos, los más importantes son:

- muerte directa por la descarga de venenos o de otras sustancias dañinas
- contaminación corporal ( tainting o manchado) , por ejemplo, merced a petróleo o fenoles en forma tal que peces, moluscos, plantas marinas y otros productos del mar se vuelven incomedibles
- acumulación por peces, moluscos, otros invertebrados o plantas, de metales o sustancias orgánicas persistentes a tal grado que se vuelvan inapropiados para el consumo humano
- contaminación por bacterias patógenas, virus u otros organismos transportados en las aguas negras, que son capaces de provocar enfermedades en el hombre si el alimento marino es consumido crudo o insuficientemente cocido.

- alteración del agua o del medio ambiente costero en forma tal que se vuelven inutilizables para la pesquería comercial de peces, moluscos y otros organismos de la dieta humana, lo que implica además un daño consecuente a la subsistencia de los pescadores locales
- introducción de materia orgánica o aguas negras - que pueden reducir los niveles de oxígeno disuelto y/o incrementar los de nutrientes, afectando de esta manera la composición y abundancia del fito -- plancton y de otros organismos ( GESAMP, 1980a)

El equilibrio ecológico de los océanos puede alterarse de muchas maneras: algunos contaminantes envenenan directamente a los animales y plantas con los que tienen contacto, otros, exigen tal cantidad de oxígeno disuelto en el agua que los competidores vivos se sofocan; algunos más estimulan el crecimiento de una sola especie que consume o envenena a las otras, y otros contaminantes se acumulan en las cadenas tróficas, en los tejidos de los organismos marinos, porque no son fácilmente susceptibles al metabolismo; los contaminantes así concentrados por las cadenas alimentarias pueden llegar a niveles que trastornan las funciones fisiológicas.

La operación de estos diferentes mecanismos, y los efectos que producen, se determinan en parte por el lugar donde ocurre la contaminación del medio marino. Los océanos no son homogéneos, varían grandemente en ellos los parámetros físicos como la temperatura y la presión. Igualmente la vida marina y las sustancias nutritivas que se necesitan -

para apoyarla no están distribuidas uniformemente sino que al contrario, se encuentran concentradas en ciertas regiones; estas áreas fértiles de los océanos, como hemos señalado ya, se hallan a lo largo de las costas; entre ellas los estuarios son las más fértiles.

Algunas especies de la vida marina se hallan concentradas en ciertas zonas, mientras que otras se extienden por vastas regiones del mar, hasta el movimiento del agua en los océanos no es uniforme aunque parezca que las olas son similares en toda la Tierra, los oceanógrafos han descubierto que el agua se mueve más rápidamente en las corrientes superficiales y que hay zonas en que permanece más o menos en el mismo sitio por muchos años. Cuando se pone en ellas un contaminante es como si se lo pusiera en una laguna, se queda estancado ahí por largo tiempo -- (Schachter y Serwer, 1971).

Por otra parte, los contaminantes no tienen que ser arrojados en un lugar determinado del océano, y ni siquiera en él, para que vayan a terminar allí. No es sólo que los ríos desembocan en el mar y que las corrientes marinas bañan la Tierra, sino que la atmósfera y el mar intercambian materiales constantemente.

El intercambio se realiza siguiendo mecanismos que permiten la evasión de partículas y gases del mar a la atmósfera y la precipitación de las mismas de ésta hacia el mar. El mecanismo más importante para el transporte de contaminantes no gaseosos del mar a la atmósfera es la burbuja de aire, la que colecta material activo interfacialmente durante su ascenso a través del agua y arroja algo del material adsorbido en la atmósfera cuando explota en la superficie marina.

El enriquecimiento de diversos contaminantes se presenta tanto sobre la superficie de la burbuja como en la microcapa superficial ( Mac Intyre, 1974), de forma tal que el proceso de explosión de burbujas puede conducir al enriquecimiento atmosférico de los contaminantes adsorbidos en relación a su concentración en el agua. La microcapa concentra ávidamente metales pesados e hidrocarburos clorinados que posteriormente son arrojados por las burbujas a la atmósfera. Para darnos idea del " potencial de liberación" de las burbujas en la microcapa consideremos lo que sucede con la sal, de acuerdo con Mac Intyre (1974), entre 3 y 4% de la superficie oceánica ( cerca de 12 millones de  $\text{km}^2$ ) están cubiertos en cualquier momento con burbujas, asumiendo una tasa de estallamiento de  $10^{18}$  burbujas por segundo, la cantidad de sal que es inyectada en la atmósfera por esta vía oscila entre mil y diez mil millones de TM de sal anualmente.

Por otra parte, los contaminantes gaseosos se intercambian principalmente por procesos moleculares en la interfase aire/mar. Se desconoce aún la magnitud del transporte gaseoso por burbujas, pero se piensa que es menor que el debido al intercambio molecular; en ambos, aire y agua, los gases están mezclados y son transportados por procesos de turbulencia y convección, mientras que la difusión molecular domina cerca de la interfase en una delgada capa a ambos lados de la superficie oceánica. El intercambio gaseoso aire/mar puede controlarse por la velocidad de transferencia en cualquiera de las dos fases:

- gaseosa, para agua, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno
- acuosa, para nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (GESAMP, 1980c).

Los modos de transporte más significativos de la atmósfera al océano se han identificado para ciertos contaminantes de la siguiente manera: los metales pesados, sulfatos, radionúcleos y microorganismos, se mueven desde el aire hacia el mar ya sea como depósito seco o como resultado de -- procesos de precipitación; los gases que reaccionan con o -- son solubles en agua, son transportados por precipitación -- así como por procesos de transporte de fase gaseosa ( por -- ejemplo el dióxido de azufre) ; mientras que la transferencia de fase líquida, es el modo principal de transporte de aquellos gases que no reaccionan o se disuelven extensamente en el agua ( por ejemplo hidrocarburos gaseosos y halogenados). Los hidrocarburos de alto peso molecular y los -- halogenados, existen en la atmósfera en ambos estados, gaseoso y particulado, y son transportados hacia el mar por los tres caminos señalados.

De la información disponible sobre la transferencia neta del océano abierto para todos los contaminantes se concluye que va del aire al mar. En el caso del petróleo en el agua oceánica, los constituyentes ligeros más volátiles se mueven del mar al aire, mientras que los más pesados, posiblemente componentes reactivos fotoquímicamente, siguen el camino opuesto ( GESAMP, 1980c).

La absorción de luz por especies químicas puede producir reacciones que de otra forma no ocurrirían bajo las condiciones del medio, particularmente la temperatura, en ausencia de luz. Estas reacciones llamadas fotoquímicas se presentan aún en ausencia de un catalizador químico a temperaturas mucho más bajas que las normalmente requeridas. Tales reacciones fotoquímicas, inducidas en la biosfera por la radiación solar intensa, juegan un papel muy importante para determinar la naturaleza y destino final de una especie química en la atmósfera ( Manahan, 1984).

Los organismos marinos, tanto plantas como animales, - participan del intercambio de contaminantes aire/mar en di versas formas:

- producen y emiten material orgánico de superficie-activa que puede alterar el intercambio de contami- nantes a través de la formación de películas tanto en la interfase aire/mar, como sobre las burbujas de aire y partículas que se mueven hacia la inter- fase. Las películas y fases orgánicas pueden acu- mular contaminantes oleofílicos tales como. hidro- carburos, hidrocarburos clorinados o formas orgáni- cas de los metales pesados
- la sustancias liberadas, o utilizadas por los orga- nismos, pueden alcanzar la atmósfera por intercam- bio gaseoso o por actividad de las burbujas. Las - plantas marinas que flotan en o cerca de la super- ficia (por ejemplo Sargassum spp) pueden introducir sustancias orgánicas gaseosas y volátiles directa- mente en la atmósfera. La implicación más fundamen- tal de los organismos marinos en el intercambio - aire/mar se da: en la utilización de dióxido de car- bono y liberación de oxígeno por las plantas mari- nas en los procesos fotosintéticos; y en la respira- ción de bacterias y animales marinos. Las poblacio- nes oceánicas juegan un papel principal en mantener el balance de estos gases, producen también una am- plia variedad de hidrocarburos halogenados de cade- na corta y una cierta variedad de cadena corta y lar- ga, además de lípidos, proteínas y carbohidratos. A- mediados de los setenta se descubrió que, a escala - mundial, por lo menos la mitad de todas las sustancias orgánicas sintetizadas por el fitoplancton son conver- tidas por un tiempo en cera ( un lípido como la grasa, Benson y Lee, 1975).



- los microorganismos y sus productos metabólicos, pueden ser transportados del mar a la atmósfera marina por la acción de las burbujas, no obstante se desconoce aún si los organismos patógenos pueden ser transportados por esta vía de los sitios de desechos municipales costeros y los ductos de aguas negras a la atmósfera, y de allí a zonas -- continentales populosas, en número suficiente como para provocar epidemias (GESAMP, 1980c).

Algunas de las sustancias importantes como contaminantes que comprenden, en su ciclo global, la transferencia aire/mar y de muchas de las cuales se sabe o se sospecha que -- tienen efectos dañinos sobre los organismos son:

- hidrocarburos petrolíferos en general
- hidrocarburos halogenados de alto peso molecular, incluyendo DPC, hexaclorobenceno, DDT y otros pesticidas clorinados, etc.
- hidrocarburos halogenados de bajo peso molecular, incluyendo clorocarbonos como: tetracloruro de carbono, cloroformo, diclorometano, percloroetileno y los clorofluorometanos
- dióxido de carbono
- dióxido de azufre y sus productos de oxidación, incluyendo los sulfatos
- metales pesados, incluyendo: plomo, mercurio, arsénico, selenio, antimonio, zinc, cadmio, cobre, níquel, cromo y vanadio
- radionúcleos, particularmente plutonio y americio
- bacterias patógenas y virus

(GESAMP, 1980c).

En el apéndice V se enlista un grupo de sustancias importantes producidas o concentradas por organismos marinos con sus fuentes y comentarios.

Algunos de estos contaminantes han despertado inquietud debido a las consecuencias deletéreas que pueden tener, lo mismo sucede con ciertas actividades humanas en el océano hoy en día, a continuación se enumeran las siete más importantes así como el motivo de preocupación que se deriva de su implementación o presencia:

- 1) dióxido de carbono: corrimientos climáticos, cambios en la temperatura y nivel del mar, etc.
- 2) metales: efectos tóxicos potenciales
- 3) microorganismos: riesgo de salud pública
- 4) disposición de desechos radiactivos : riesgo de - salud pública
- 5) nuevos productos químicos: efectos tóxicos sobre el hombre y otros organismos
- 6) producción de nuevas energías: perturbación de -- habitat
- 7) minería del océano profundo: incremento en la turbidez, perturbación del lecho marino y otros.

Fuente: GESAMP, 1982b.

En general las características de un desecho pueden - discutirse en términos de sus propiedades físicas, químicas, y biológicas, las tres están interconectadas en cuanto a sus efectos sobre el medio ambiente marino. Desechos diversos - requieren consideraciones diferentes dependiendo de su persistencia, de sus componentes en el mar, y de factores tales como el grado de toxicidad de las sustancias y de la turbidez

que resulte de su vertido; los tres factores deben considerarse conjuntamente al seleccionar los sitios de desecho, -  
empero, en la mayor parte de los programas de monitoreo la contaminación se mide en términos químicos, y en efecto, el análisis químico de material de los diversos compartimentos del ambiente puede proveer un indicador sensible de la concentración de las sustancias que han sido seleccionadas para estudiarse. Pero la contaminación, de acuerdo con la definición del GESAMP, implica efectos deletéreos y éstos usualmente se valoran en relación a sistemas biológicos, por lo tanto, en el monitoreo de la contaminación se requiere información biológica aunque se discute a qué nivel y en qué forma puede aplicarse de manera más efectiva el conocimiento biológico.

Aquellos comprometidos con el control y administración de los recursos tienden a evitar el uso amplio de parámetros biológicos, debido al alto grado de variabilidad en los sistemas naturales y a la complejidad de las reacciones de un organismo al stress proveniente de muchos factores físicos y químicos. Con frecuencia prefieren el uso de análisis químicos como procedimientos de rutina, introduciendo criterios biológicos sólo en el estado de evaluación. Sin embargo la confianza en sólo el análisis químico para estudios de efectos biológicos tiene serias deficiencias; así, cambios ligeros en términos de análisis químico, cambios insignificantes en las concentraciones de ciertos productos químicos, pueden afectar marcadamente la calidad del agua desde el punto de vista biológico; también productos químicos que por sí mismos pudieran ser inocuos, pueden causar efectos al interactuar con otras sustancias en el medio general de aguas contaminadas.

Más aún, especies químicas cuya identidad se desconoce o cuya presencia incluso no se sospecha pueden producir efectos importantes. Finalmente, sin observaciones que relacionen niveles en el agua o los sedimentos, con concentraciones en los tejidos y por lo tanto con efectos sobre los organismos y sus poblaciones, y últimamente con el bienestar del ecosistema como una totalidad, es imposible una adecuada valoración de la contaminación oceánica.

Claramente hay problemas para utilizar variables biológicas en el monitoreo de los efectos producidos por la contaminación, no obstante, debe enfatizarse que un programa de monitoreo óptimo debe incluir en el trabajo de campo además de observaciones físicas y químicas, las observaciones biológicas. Entre los efectos principales que deben considerarse están:

- morfológicos y patológicos
- fisiológicos
- bioquímicos
- genéticos
- comportamentales
- ecológicos y bioensayos

(GESAMP, 1980b)

#### Características físicas de los contaminantes y sus efectos:

la dispersión de desechos líquidos miscibles en el agua de mar está influida al principio de la operación por su densidad, después de la dilución en el mar ésta carece de importancia, en cambio, los desechos domésticos liberados al mar a través de una tubería de descarga sumergida, usualmente suben a la superficie debido a su densidad significativamente menor incluso después del mezclado inicial. Cuando las densidades de las capas sobrepuestas de agua y agua diluida, difieren en una parte por mil o más, se suprime la mezcla en la interfase.

Los desechos miscibles o no miscibles de baja densidad que flotan sobre la superficie, ofrecen un problema de disposición particularmente difícil, además, las convergencias de superficie concentran los desechos flotantes y pueden causar su reacumulación y no su dispersión.

Los desechos que flotan (plásticos persistentes, cuerdas y redcillas) pueden interferir con las pesquerías, la navegación y la recreación, si se liberan cerca de la costa serán llevadas por el oleaje a la playa.

El vertido de material particulado puede influir en el medio ambiente marino en diversas formas. Las partículas materiales pueden incrementar la turbidez natural y causar decoloración con efectos adversos posibles sobre las pesquerías y los intereses de recreación. Se puede reducir la penetración de la luz con los consecuentes efectos sobre la fotosíntesis, ciertas formas de desechos particulados pueden obstruir la superficie de branquias de peces e invertebrados; también el asentamiento de partículas en grandes cantidades confinadas a un área alterarán la composición del sedimento y por lo tanto afectarán a los organismos bentónicos.

Si los sólidos son orgánicos se pueden desarrollar condiciones anóxicas en el sedimento y la capa de agua sobre el mismo, lo que conducirá a una reducción en la conveniencia del habitat para el desove, refugio y alimentación, se ha señalado que los lechos de grava requeridos para el desove de peces como el arenque y los habitats de las langostas pueden ser alterados adversamente por desechos particulados aún a distancia considerable del sitio de vertido. Se han reportado cambios en los sedimentos después del vertido de lodos de alcantarillado mostrándose que afectan la estructura de comunidades animales bentónicas.

Los habitats coralinos, que debido a su complejidad albergan una gran diversidad de animales especializados, son particularmente sensibles, y el vertido de materiales particulados en la vecindad de un arrecife coralino pudiera modificar la estructura del habitat, con la subsecuente reducción en la productividad. Johannes señaló ya en 1975, que una vez dañada una comunidad de corales no se puede asumir que se renovará jamás (GESAMP, 1982a)

Características químicas de los contaminantes y sus efectos: es necesario tener una apreciación de la composición química del desecho para valorar sus efectos potenciales sobre la calidad del agua y la biota marina.

Los desechos pueden modificar la química del ambiente marino en diversas formas. Por ejemplo, pueden conducir a un cambio en las concentraciones y distribución de las especies químicas presentes en el agua, ya sea directamente a través de la adición o modificación del balance iónico, conduciendo a la degasificación o precipitación de materiales de otra manera solubles, e indirectamente los desechos pueden introducir compuestos nuevos y exóticos para el ambiente; con frecuencia existen cambios biológicos asociados.

Bajo condiciones de quietud, como en lagunas costeras y fiordos, los desechos con una alta demanda de oxígeno químico (DOQ) y/o bioquímico (DOB) pueden conducir a la desoxigenación del agua o del sedimento. Ejemplos de tales desechos son el sulfato ferroso de la producción de dióxido de titanio, aguas negras y lodos de alcantarillado, desechos de la fabricación de papel y del procesamiento de alimentos.

La descomposición de tales desechos puede liberar grandes cantidades de nutrientes vegetales (fosfatos, nitratos y -

silicatos) los que pueden producir florecimientos masivos de algas; a tales florecimientos sigue con frecuencia una fuerte desoxigenación debida ya sea a las actividades respiratorias de la biomasa o debida a la muerte y descomposición de las algas, este efecto puede resultar en mortalidad de peces y moluscos. Aparte de estos efectos de eutroficación pueden darse situaciones en donde la liberación de otro elemento limitante, como un metal traza, puede estimular la productividad local de organismos seleccionados con consecuencias potencialmente similares.

El agua de mar tiene una considerable capacidad amortiguadora para ácidos y álcalis y esta propiedad puede ser ventajosa si los métodos y sitios de vertido usados proporcionan una dilución adecuada. La mayor parte de los organismos marinos son gravemente afectados por el pH fuera del intervalo 6 a 10, pero además pequeños cambios en el pH del agua pueden ser deletéreos a largo plazo, a través de por ejemplo sus efectos sobre la presión parcial del dióxido de carbono. Debe de evitarse entonces el vertido de desechos ácidos o muy alcalinos sobre todo en zonas de lenta circulación del agua.

Ciertos productos químicos como los compuestos organofosforados, cianuros, fenoles complejos e incluso radicales inorgánicos como el cloruro y el amoniaco pueden ser muy tóxicos para la vida marina.

El cloro es rápidamente reducido a cloruro y muchos de los compuestos organofosforados altamente tóxicos son hidrolizados en el agua de mar, aunque en algunos casos su vida media puede ser del orden de meses. Ahora bien, no todas las especies químicas descargadas al mar se vuelven

rápidamente inofensivas por dilución o degradación, ciertos grupos, como algunos de los productos químicos orgánicos halogenados, son relativamente resistentes a la degradación bioquímica y pueden persistir en el ambiente por años.

Los organismos vivientes pueden acumular algunas sustancias dentro de sus tejidos hasta una concentración mayor que la del agua o los sedimentos; los metales pesados pueden combinarse con las proteínas, y el petróleo y los hidrocarburos clorinados se acumulan en los componentes grasos. El proceso es usualmente reversible, pero en muchos casos, la tasa de ingesta por los organismos es sustancialmente mayor que la tasa de excreción o degradación, lo que resulta en bioacumulación y en el paso de la sustancia contaminante a lo largo de la cadena trófica.

Muchos metales son acumulados por los organismos marinos y pueden tener un efecto deletéreo, ya sea directamente sobre los organismos o sus depredadores. Debido a que los metales como elementos son indestructibles, debe ponerse especial atención a su concentración y cantidad en el desecho.

Es conveniente destacar la importancia del estado químico de una sustancia; en forma insoluble, y a veces también en la formación de complejos, se reduce de manera considerable la aguda toxicidad del plomo, zinc y cadmio. Asimismo, ciertos metales y compuestos orgánicos son rápidamente y fuertemente adsorbidos sobre y/o absorbidos en partículas materiales de arcilla, hidróxidos metálicos, partículas orgánicas y otros. Se tiene evidencia de que en este estado están -- mucho menos disponibles para ser consumidos por los organismos, disminuyendo así el riesgo de bioacumulación o los efectos tóxicos.



Finalmente, en relación a la toxicidad de los metales debe resaltarse la importancia del estado de valencia; el cromo hexavalente es más tóxico que el trivalente y el arsénico pentavalente es más tóxico que el trivalente, el arsénico, en contraste con el mercurio, parece ser inactivado por acción biológica y aunque se encuentran en muchas especies elevados contenidos del elemento ( más de 100 - mg/kg) el arsénico está presente en una forma altamente - organocompleja que parece no ejercer efectos dañinos ni - sobre el organismo ni en sus depredadores ( GESAMP, 1982a).

Características biológicas de los contaminantes y sus efectos: los desechos pueden tener un impacto biológico en dos formas. Añadiendo material biológico, especialmente microorganismos o modificando el medio físico y químico, afectando la flora y fauna presentes.

Los lodos de alcantarillado, desechos de dragado contaminados y ciertos desechos industriales, introducen organismos exóticos al ambiente marino. Para la mayoría su - sobrevivencia en la columna de agua es corta, no obstante Verber, reportó en 1976, haber encontrado elevados niveles de ambos coliformes fecales y totales en aguas superficiales después del vertido de aguas negras ( GESAMP, 1982a). El cuadro en los sedimentos parece ser bastante diferente. Los microorganismos adheridos a ciertas partículas pueden existir como agregados y el medio ambiente sedimentario - pudiera tener un efecto estabilizador sobre su viabilidad. También está la cuestión de la transferencia de virulencia, y de la resistencia a los antibióticos, de un grupo a otro, o de formas introducidas a bacterias indígenas. También es de preocupación que los gusanos parasíticos, las bacterias

y virus patógenos, protozoarios, levaduras y hongos, se encuentran presentes en los desechos vertidos en concentraciones muy por encima de la dosis ínfima de infección para los humanos. Desde el punto de vista de la salud pública, es muy importante asegurarse de que los desechos contaminados con estos organismos, sean vertidos en forma tal que se prevenga, que patógenos en relativamente alta concentración regresen al hombre, vía el agua marina en áreas de recreación como las playas, o vía su alimentación, especialmente en moluscos que tienden a concentrar microorganismos y que son consumidos crudos o deficientemente cocinados. - Está claro que las clases y números de los organismos patógenos presentes en las aguas servidas son muy variables y dependen primariamente de la salud de la comunidad en donde se generan los desechos. A pesar de los estudios efectuados aún no se conoce el riesgo exacto para la salud de los virus patógenos.

Pasando de riesgos de salud pública a consideraciones ecológicas más generales en relación al vertido de microorganismos en el mar, existe ya considerable evidencia de que la incidencia de infecciones bacterianas y virales de peces y moluscos puede ser mucho mayor en áreas que reciben desechos, como lodos de alcantarillado ricos en organismos potencialmente patógenos. Aún no se sabe hasta qué grado el incremento de enfermedades en organismos marinos se debe a su infección directa por los patógenos introducidos o resulta de una reducción general en la calidad del habitat, en todo caso el impacto biológico es muy acentuado para las comunidades costeras que reciben tal descarga.

Los desechos pueden tener efectos biológicos relacionados a una o más de las siguientes características:

- pueden ser tóxicos para los organismos marinos
- pueden ser acumulados dentro del organismo hasta una concentración sustancialmente mayor que la del medio ambiente
- pueden ser introducidos al medio en grandes cantidades
- pueden persistir allí por largos períodos de tiempo

En términos generales, los efectos biológicos de una sustancia introducida en el mar dependen de la interacción de cuatro factores:

- 1) - el sistema biológico implicado
- 2) - la naturaleza química o física de la sustancia
- 3) - su concentración
- 4) - el tiempo que persista una concentración reforzada

revisemos cada uno de ellos brevemente:

- 1) - es característica especial de los sistemas biológicos el que debido a la diversidad de los organismos en la comunidad, el espectro de consecuencias posibles provocadas por la introducción de un desecho sea muy amplio, ello es resultado de la diferente susceptibilidad de las especies a un mismo veneno. También vale la pena señalar que las especies afectadas y el grado del efecto tienen diferente significado para la biocenosis de un ecosistema particular, así como para los recursos pesqueros probables. Es difícil generalizar acerca de la sensibilidad relativa de diferentes grupos, ya que esto depende en gran medida de la sustancia implicada; los crustáceos por ejemplo son particular

mente sensibles a la mayoría de los insecticidas orgánicos, y las algas a sustancias que contienen cobre disponible. Además, dentro de una especie los estados juveniles tienden a ser más susceptibles al daño que los adultos.

- 2) - la naturaleza química del desecho es de primordial importancia para determinar cómo y cuánto afectará a un sistema biológico. Ciertos productos químicos (como el nitrógeno o el fósforo) son fundamentales para la existencia de la vida, y la producción biológica está limitada con frecuencia por la cantidad de estas sustancias disponible en forma natural en el océano; su incremento como hemos dicho puede conducir a condiciones de eutroficación. Por otra parte, la introducción de productos químicos exóticos al ambiente marino, o que puedan conducir a concentraciones artificiales, presentan un riesgo potencial a través de su toxicidad para la vida. Las especies químicas pueden ser muy específicas en su acción a nivel bioquímico (por ejemplo sobre la transmisión del impulso nervioso o sobre el metabolismo del calcio) y a nivel de especie o género afectando a un grupo sí y a otro no
- 3) - algunos productos químicos son biológicamente activos a muy bajas concentraciones (por ejemplo metales traza, insecticidas organoclorados), mientras que otros ejercen efectos dañinos sólo a muy altas concentraciones (por ejemplo sulfatos o carbonatos)

- 4) - algunos producen efectos inmediatos, en segundos - ( por ejemplo el cianuro), mientras para otros se requiere una larga exposición antes de que se manifiesten efectos aparentes; generalmente la relación entre tiempo y concentración es crítica. Así habrá un tiempo mínimo para producir un efecto incluso - a la concentración más elevada y a la vez hay una - concentración por abajo de la cual el producto químico no producirá efectos incluso después de una prolongada exposición. Entre estos dos extremos, el - tiempo y la concentración se relacionan de manera - más o menos directa

En algunos países, el vertido de desechos al mar se planea de tal manera que no provoque efectos letales a la biota marina, pero no se considera que los efectos subletales pueden ser igualmente importantes, es decir perniciosos, particularmente si alteran los patrones de migración o si cambian la habilidad competitiva de una especie, por ejemplo a través de su eficiencia alimentaria o su adecuación (GESAMP, -- 1982a).

#### Contaminantes

Una vez hechas estas consideraciones generales sobre la contaminación oceánica, analicemos cada uno de los grupos -- más importantes de contaminantes, a saber:

- productos químicos ( incluyendo DPC y pesticidas)
- hidrocarburos
- metales pesados
- radiaciones ( incluyendo agua caliente de reactores)
- desechos orgánicos ( incluyendo microorganismos y - otros)

### Productos Químicos:

Sin duda alguna, el peligro ambiental de mayor potencia para los organismos marinos, terrestres y los seres humanos son los productos químicos que introducimos de manera creciente en la atmósfera y en la hidrósfera de la Tierra - ( Ingmanson y Wallace, 1979).

La sociedad contemporánea depende irrevocablemente de los productos químicos; estas sustancias nos han producido inmensos beneficios: mayor producción de alimentos, mejor atención sanitaria, erradicación de enfermedades mortales, mayor esperanza de vida, nuevos materiales ultraligeros y resistentes para la industria, la construcción y el hogar, podemos decir que nos han proporcionado un mejor nivel de vida material. Pero cada vez es mayor el número de esos productos que no se encuentran en la naturaleza en cantidades útiles, y que es necesario extraer y concentrar a partir de materiales naturales, o bien sintetizarlos en el laboratorio.

Muchos de esos productos químicos son peligrosos y es necesario poner gran cuidado cuando se trata de utilizarlos, almacenarlos o evacuarlos, no se diga de su producción, la que genera grandes volúmenes de desechos tóxicos ( por ejemplo la dioxina). Su descarga en el medio ambiente, intencional o no, puede tener graves consecuencias (UNEP, 1981).

La producción sintética industrial a gran escala plantea problemas especiales, ya que debido a su origen sintético es posible que no existan procesos físicos y biológicos naturales capaces de degradarlos y convertirlos en formas inocuas.

De los más de 6 millones de productos químicos conocidos, de 60 a 70 mil son actualmente de uso común ( sólo unos 30 -- mil son comercializados en grandes volúmenes, El-Hinnawi y Hashmi, 1982). Todos los años se descubren varios miles de nuevos productos y una décima parte de ellos ingresan al comercio mundial ( de 500 a 1,000, Meith, 1985).

No sólo aumenta rápidamente el número de sustancias creadas por la revolución química de nuestro siglo sino que el -- volumen de producción crece con la misma velocidad. La producción total de productos orgánicos sintéticos se elevó, de acuerdo con Nader, entre 1970 y 1980, en más del 50%. De 1940 a 1978 la producción de compuestos orgánicos sólo en los Estados Unidos pasó de 598 mil TM a 147,2 millones de TM, un incremento de 24,615% en 38 años, un crecimiento anual promedio de 647% ( El-Hannawi y Hashmi, 1982).

Además, por su naturaleza, muchos productos químicos usados en los procesos de manufactura, incluyendo productos intermedios y terminales ( primarios y secundarios), tienden a ser reactivos química y biológicamente y por ende potencialmente peligrosos para la salud humana y el medio ambiente -- ( Itun, 1983).

Debido a su gran industrialización, los Estados Unidos son los principales productores de productos químicos del planeta, y por lo tanto de residuos considerados peligrosos. La Oficina de Evaluación Tecnológica del Congreso considera que existen por los menos 10 mil sitios de depósito de desechos peligrosos ( Magnuson, 1985).

Cada año se desechan en los Estados Unidos entre 5 y 6 -- mil millones de TM de desechos sólidos que incluyen: lodos --

---

\* En 1950, se produjeron 7 millones de TM, 63 millones de TM en 1970 y en la actualidad se ha llegado a unos 250 millones de TM (PNUMA, 1986b).

de alcantarilla, desechos agrícolas, residuos de la minería, desechos patológicos, basura común de los hogares y desechos industriales, las cantidades estimadas para cada uno de los rubros principales son:

fuentes de desecho	TM (10 <sup>6</sup> )	% total
municipal	180	3.1
industrial	350	6.4
minería / molinos	2,000	39.0
agricultura	2,300 - 3,000	59.0
servicios públicos	70	1.2
	<u>4,900 - 5,700</u>	<u>100 %</u>

De los 350 millones de TM aproximadamente de desechos industriales, estima la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos que c. 42 millones de TM son " peligrosos " -- (en la legislación norteamericana, desecho peligroso se define como el que plantea un peligro considerable, actual o potencial, para la salud del ser humano o de otros seres vivos, PNUMA, 1983). De esta cantidad (el PNUMA reporta 60 millones en 1983) el 62% es generado por la industria química en general, 10% por la industria metalúrgica primaria (siderúrgicas y otras), 5% de la producción de productos de petróleo y carbón, 5% de la fabricación de productos metálicos, el restante 18% proviene de casi 25 otras ramas industriales ( por ejemplo producción de papel, cartón y otros, equipo de transporte, eléctrico y electrónico, Skinner, 1983).

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos la lista de productos contaminantes tóxicos cubre 65 elementos, compuestos y clases de compuestos derivados todos ellos de fuentes industriales ( ver apéndice VI ). La lista puede elevarse a miles de contaminantes si se incluyeran todos los compuestos de cada clase y todos los compuestos organometálicos (Keith y Telliard, 1979).



Las fuentes principales de estos desechos son:

procesamiento de productos de madera  
curtido y terminado de pieles  
manufactura de hierro y acero  
refinación del petróleo  
manufactura de productos químicos inorgánicos  
fábricas textiles  
manufactura de productos químicos orgánicos incluyendo:

- adhesivos
- productos químicos de gomas y maderas
- farmacéuticos
- manufactura de explosivos
- pesticidas

manufactura de metales no-ferrosos  
materiales para pavimentar y techar  
pinturas y tintas  
manufactura de jabones y detergentes  
lavado de autos y otros  
materiales plásticos y sintéticos  
pulpa, fabricación de cartón y productos de papel  
procesamiento del caucho  
productos químicos diversos  
productos de la manufactura de maquinaria y mecánicos,  
incluyendo:

- estructuras de aluminio
- manufacturas de baterías
- recubrimiento de bobinas
- trabajado del cobre
- fundiciones

- procesamiento de plásticos
- esmaltado de porcelana
- productos mecánicos
- componentes eléctricos y electrónicos

electrodeposición metálica ( niquelado, cobrizado, etc.)  
industrias extractivas tales como:

- minería de diferentes minerales
- minería del carbón

Fuente: George S. Domínguez, 1983.

Las diversas opciones que existen hoy en día para " disponer"  
de los desechos peligrosos o tóxicos comprenden:

tratamiento en tierra

tratamiento térmico

incineración

tratamiento químico, físico y/o biológico ( incluyendo el  
uso de microbios desarrollados por ingeniería genética)

neutralización

inyección subterránea

cultivo de la tierra ( por ejemplo escorias)

áreas de almacenamiento naturales: cuevas, lecho de piza  
rras

relleno de terrenos

solidificación-entierro

vertido oceánico

Fuente: George S. Domínguez, 1983.

Este último no es el único uso oceánico de disposición de  
contaminantes. Desde hace algunos años se viene empleando en  
forma creciente ( y alarmante, según biólogos marinos, ecólogos

y oceanógrafos), la incineración en alta mar. Varios países hacen uso de ella hoy en día debido al problema que presenta disponer en forma apropiada de ciertas sustancias tóxicas y debido - sobre todo - al hajo costo de su incineración marina. Sólo Francia dispone por este medio de 4 - mil TM de desechos clorinados y 7 mil TM de otros desechos anualmente ( Le Roy, 1983). Lo que resuelve el problema - de inmediato para las naciones que lo realizan pero no así para las comunidades oceánicas, ya que la incineración puede no ser completa liberando de este modo directamente peligrosos desechos al mar, y aún si lo es, los gases y humos productos de la combustión se precipitan al mar tarde o temprano con las consecuencias pertinentes.

El vertido de estos desechos al océano mundial ha sido regulado por las Convenciones de Londres ( 1972) y Oslo (1972), prohibiéndose el hundimiento de un buen número de ellos y regulándose estrictamente el de otros ( Htun y Huismans, 1985).

No obstante, se siguen vertiendo éstas y otras sustancias contaminantes al mar. La cantidad de desechos químicos empleados en la producción y la vida doméstica, arrojada al medio ambiente supera de 10 a 100 veces su lanzamiento natural a consecuencia de la actividad volcánica y la destrucción de rocas, que tarde o temprano por una u otra vía cae al mar.

Prácticamente, no hay datos sobre la proporción de la contaminación del océano mundial por todos los agentes nocivos. Sin embargo, sabemos por los datos compilados hasta ahora que una fuente potencial de contaminación, tanto del océano como de la atmósfera con sustancias químicas tóxicas, es su lanzamiento desde los barcos que transportan todas las cargas de este género, incluidas las más comunes y peligrosas.

En 1970, se transportaron ya 260 cargas líquidas peligrosas entre ellas:

acetona	naftaleno líquido
ácido cianhídrico	ácido nafténico
acrilonitrilo	fenol líquido
alcohol alílico	ácido fosfórico
amoniaco	alcohol propílico
benceno	piridina
disulfuro de carbono	estiroleno monómero
sosa cáustica	ácido sulfúrico
cresol	azufre líquido
creosota	tetraetilo de plomo
ciclohexano	tetrametilo de plomo
diclorobenceno	tolueno
diclorohidrina	disocianato de tolueno
dicloroetileno	xilenos
metanol	y otros 231 productos

Fuente: S. Sálnikov, 1984.

El traslado de sustancias químicas líquidas y otras en buques cisterna se ha incrementado de manera importante, y de acuerdo con datos del Lloyd's Register el peligro de contaminación desde estos barcos va adquiriendo también proporciones cada vez mayores.

En 1975/1976 el transporte marítimo de las cargas químicas más peligrosas pasó de los 25 millones de TM. Para 1980, los transportadores de gas trasladaron 18 millones de TM de gases licuados del petróleo y 110 mil millones de m<sup>3</sup> de gas natural licuado. Entre las cargas líquidas cuya proporción en el transporte mundial -después del petróleo, los gases naturales y los de petróleo- ocupa un lugar considerable por su volumen ( 500 mil TM/año y más) figuran : la nafta, el azufre, la sosa cáustica, la melaza, el metanol, los xilenos y el estireno, las que en general son sustancias bien conocidas y muy difundidas, de distinta nocividad para el ambiente marítimo.

Entre las cargas más peligrosas transportadas constituyen parte principal la naftalina, el tetraestilo de plomo, el cresol y los ácidos nafténicos; el transporte anual de las sustancias más peligrosas llega a más de 100 mil TM .

La mayor cantidad de sustancias (mil toneladas métricas - por año o más) se arroja en el Océano Atlántico norte y en el noroeste del Océano Pacífico, más que nada cerca del litoral del Japón, donde es más densa la red de vías de transporte de productos químicos; debido a que en estas zonas - se hallan países con industria química altamente desarrollada.

Entre los accidentes ocurridos a estos barcos podemos citar:

- noviembre de 1974, en el Golfo de Tokio, tuvo lugar un accidente catastrófico cuando el buque japonés - Yuyo Maru para transporte de gas, con peso muerto - de más de 50 mil TM, con carga de propano, butano y nafta chocó con un transporte de cargas a granel
- julio de 1978, a consecuencia de una colisión se - fue a pique el buque japonés Tantsan Maru para transporte de productos químicos con 1,350 TM de ácido -- sulfúrico
- febrero de 1979, el transportador italiano de contenedores María Costa, de 16 mil TM p.m. sufre un accidente en la Bahía de Chesapeake liberando cerca de 50 TM del pesticida tóxico Mocar-10g

(Sálnikov, 1984).

El problema del vertido de productos químicos tóxicos al océano mundial se exagera debido a las posibles interacciones sinérgicas entre los mismos productos químicos merced a las cuales se refuerza e incrementa su toxicidad (UNEP, 1979a; Larré y Gajraj, 1979).

De todo el desagüe mundial de los ríos, que suma c. de 45,000 Km<sup>3</sup> de agua/año, cerca de 2,400 Km<sup>3</sup> retornan al mar en estado más o menos contaminado. El total de sustancias sólidas de origen natural y antropogénico - que los ríos transportan al mar, lo hemos señalado ya, es más de 20 mil millones de TM con la particularidad de que los ríos arrojan cerca de 3,500 millones de TM de materias disueltas y 15,700 millones de TM de materias en suspensión; de acuerdo con Komar (1975) citado por Sálnikov en 1984, los ríos llevan al mar anualmente por efecto de la erosión 250 mil toneladas métricas de fierro, 440 mil de manganeso, 375 mil de cobre, 370 mil de zinc y 180 mil de fósforo.

El volumen del lanzamiento antropogénico al mar se estima aproximadamente en 1,000 millones de m<sup>3</sup> (Sálnikov, 1984). El Rhin, uno de los ríos más utilizados de Europa, al llegar a su desembocadura en los Países Bajos viene - cargado de sales de desecho, potasa y contaminantes industriales de Francia y Alemania, y está fuertemente contaminado con fenoles, fosfatos, nitratos, y contiene diversos tipos de sustancias organocloradas y metales preciosos, - además de agua caliente de diversas plantas productoras - de electricidad y de los desechos de millones de personas y de animales que el río colecta a lo largo de su paso - (Erasmus, 1983).

Las cifras de Voigt sobre este río son impresionantes: " a su paso por Bonn el Rhin arrastra diariamente 34,650 - m<sup>3</sup> de sustancias sólidas, 20 TM de sales minerales, 37 mil TM de detergentes, 37.4 TM de fósforo, 95 TM de fierro en estado de disolución, en total, 12,000 millones de m<sup>3</sup> de

aguas sucias, de éstos, 10,000 millones proceden de la industria; las impurezas en ellos contenidas suponen en peso aproximadamente lo mismo que todo el tráfico de mercancías que se transporta en la superficie; sólo la contaminación por petróleo se calcula en 120 mil TM y procede principalmente de los 18,000 barcos que surcan el río y sus afluentes ( Voigt, 1971)\*.

Por contraste, muchos otros ríos con un volumen de - descarga aproximado al del Rhin, pero situados en países - en desarrollo, vierten solamente pequeñas cargas de sus - tancias contaminantes, principalmente pesticidas si atravesaran regiones agrícolas y/o detergentes si lo hacen por zonas urbanas.

En cuanto al vertido directo, baste señalar a manera de ejemplo los vertidos de desechos tóxicos por los Estados Unidos en el Golfo de México, sobre todo en las costas de los Estados de Texas y Luisiana. De acuerdo con UNEP/CEPAL (1980) la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos autorizó en 1973 el vertido de una gran cantidad de productos químicos durante varios meses en las aguas del Golfo, de entre los 40 productos señalados por - UNEP/CEPAL muchos son altamente tóxicos y potencialmente dañinos para la vida marina, añaden que Giam et. al., en -- 1978, reportaron haber encontrado en diversos organismos de la zona, DPC y plastificadores éster-ftalato ( UNEP/CEPAL, 1980); la situación es parecida en las costas de casi todas las grandes potencias industriales ( Sálnikov, 1984).

Entre los principales productos químicos que llegan al océano por vía aérea están: hidrocarburos halogenados de --

---

\* El 19 de diciembre de 1986, se celebró la Séptima Conferencia de Ministros sobre la Contaminación del Rhin en la que se acordó el saneamiento del río antes del año 2000, para lo cual se está preparando un Plan de Acción (PNUMA, 1987).

alto peso molecular como DDT y DEC y de bajo peso molecular, por ejemplo clorocarbonos ( tetracloruro de carbono ), cloro fluorocarbonos ( F-11) y dióxido de azufre ( GESAMP, 1980c).

Debido al gran número de productos químicos que entran cada año al mercado, y de ahí al medio ambiente, ha sido prácticamente imposible determinar la toxicidad, tanto para los humanos como para otros organismos, de estos nuevos compuestos. En 1976, la legislación norteamericana promulgó el Decreto de Control de Sustancias Tóxicas conocido por sus siglas en inglés como TSCA, en vista de la gran experiencia -- estadounidense sobre la industria química, por ser el primer productor mundial, algunos de los países industrializados -- más importantes han aprobado esta legislación, no obstante las dificultades no se hicieron esperar; hemos señalado ya que se fabrican actualmente unos 70,000 productos químicos ( nadie sabe a ciencia cierta, dice Ross Hume Hall, cuántos se fabrican en el mundo) y además se añaden cada año cerca de 1,000, la Agencia de Protección Ambiental encargada de aplicar la legislación respectiva para determinar efectos deletéreos en los organismos vivos, calculó en 1977 que con la máxima rapidez burocrática no podría tomar más de 50 de decisiones sobre productos cada año. Ello no sólo deja los 70,000 ya en uso sin investigarse sino que, además, no le es posible trabajar más que aproximadamente el 2% de los nuevos productos ( Hume, 1981).

Otro gran esfuerzo, realizado esta vez por la comunidad internacional, se inició en 1972 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en Estocolmo. En esta ocasión se recomendó la creación de un Registro de Datos sobre Productos Químicos en el Medio Ambiente, proposición



iniciada ya en aquel entonces por el Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente ( SCOPE de sus siglas en inglés) dependiente del Consejo Internacional de Uniones Científicas ( ICSU, idem, Tolba, 1977).

Dos años más tarde ( 1974 ) el Consejo de Administración del PNUMA decidió establecer un registro de productos químicos y una red mundial para el intercambio de la información que debiera contener el registro, en agosto de 1976 se estableció en Ginebra, en la oficina principal de la Organización Mundial de la Salud, un servicio central para el registro, denominado Centro de Actividades del Programa ( CAP ) encargado de dos funciones principales:

- 1) recoger, almacenar y difundir datos sobre productos químicos
- 2) establecer una red mundial para el intercambio de información

desde entonces el Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos ( RIPQPT ) . ha venido trabajando arduamente para cumplir sus cometidos. La primera Lista de Trabajo de Sustancias Químicas Seleccionadas, que contenía 250 productos químicos de importancia internacional, fue preparada y distribuida por el RIPQPT en 1979, -- desde entonces la lista ha sido objeto de revisiones periódicas y se ha ampliado de modo que refleje las peticiones de la comunidad internacional, actualmente la Lista de Trabajo contiene más de 600 compuestos (Meith, 1985).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), preocupada por los posibles efectos de los contaminantes químicos sobre la salud humana, ha establecido la publicación de los

Criterios de Salud Ambiental, los tres primeros volúmenes: Mercurio (1), Difenilos Policlorados y Terpenilos (2), y Plomo (3). fueron publicados en 1977; desde entonces, la CMS se ha abocado al estudio no sólo ya de productos químicos sino también de otras clases de contaminantes físicos: Ruido (12), Radiación Ultra-violeta (14), Radiofrecuencias y Microondas (16), Ultrasonidos (22), Láseres y Radiación Óptica (23), Radionúcleos (25) y otros; además en 1984 publicó un volumen sobre Biotoxinas Acuáticas: marinas y de agua dulce (37), y hasta 1985 se habían publicado ya 46 volúmenes comprendiendo unos 27 compuestos químicos, añadiéndose además en cada Criterio una sección sobre : Efectos referentes a los organismos en el medio ambiente, que comprende organismos acuáticos, terrestres y microorganismos (IRPTC, 1977; WHO, 1985).

No obstante, el RIPQPT. no cuenta con el presupuesto suficiente para disponer de científicos, laboratorios y equipos que le permitieran llevar adelante una investigación sistemática y generalizada de todas y cada una de las especies químicas en el medio ambiente de la Tierra.

La verdad es que pecamos de una "docta ignorancia" - sobre la toxicidad de los miles de compuestos que arrojamos constantemente al océano mundial, empero, se han logrado con conjuntar datos comprobados científicamente sobre algunos de ellos, el RIPQPT señala ya toxicidad acuática para 298 productos químicos (IRPTC, 1982). No siendo objeto primario de esta investigación la exposición exhaustiva, sino la inclusión selectiva de aquellos contaminantes que provocan el mayor impacto biológico en las comunidades oceánicas, señalaremos algunos de los principales compuestos químicos por su volumen comercial y/o toxicidad comprobada, que llegaría con día a los mares y océanos de la Tierra.

### Hidrocarburos Halogenados de Alto Peso Molecular:

Diclorodifeniltricloroetano (DDT).- cada año son asperjados cerca de 2 millones de TM de pesticidas sobre el medio ambiente en un intento por controlar plagas y enfermedades, esa cantidad equivale a casi medio kilogramo por persona en el mundo y representa un negocio de 13,000 millones de dólares anuales (Larré y Gajraj, 1985). En 1965, ocho mil compañías producían más de 60,000 pesticidas registrados sólo en los Estados Unidos (Sumich, 1980), para 1981, aún estaban en uso común más de 1,000 productos de esta rama (El-Minnawi y Hashmi, 1982), de los cuales la Agencia de Protección Ambiental (APA) de los Estados Unidos considera por lo menos 26 (DPC incluidos) como parte de los 129 principales contaminantes químicos (Keith y Telliard, 1979).

El DDT y otros hidrocarburos clorados: dieldrín, endrín, toxafeno, heptacloro y clordano, destacan de entre la gran diversidad de pesticidas que comprenden: insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematodocidas, raticidas, etc. En lo particular el DDT es el prototipo de los insecticidas de acción amplia y persistente, se descubrió por síntesis en 1874, pero su eficacia como insecticida no se descubrió sino hasta 1939; debido a la escasez de suministros la mayor parte del DDT que se elaboraba en el mundo se empleó entonces para proteger personal y zonas militares principalmente contra el paludismo, el tifus exantemático y otras enfermedades transmitidas por insectos. Ya en 1944 se elaboraron en Estados Unidos 4,366 TM (OPS, 1982) y para 1966/67 la producción mundial era de 85,000 TM (FAO, 1971).

Desgraciadamente no existe un registro continuo de la producción mundial de DDT, ya que no está patentado y con

la tecnología y recursos disponibles , cualquier país pue de fabricarlo. Sin embargo, en 1982, de acuerdo con la OMS sólo quedaban en el mundo tres fábricas que lo producían: una en los Estados Unidos, otra en Francia y la última en la India. ¿ A qué se debió este cambio en la actitud humana respecto al insecticida ? Es estable ante casi toda las condiciones ambientales y resistente a la descomposición total por las enzimas de los microorganismos y de organismos superiores ( OPS, 1982); ello se debe a que, al -- igual que otros hidrocarburos de este grupo, son tipos únicos de compuestos artificiales y presentan gran diferencia con respecto a los tipos de materia orgánica que descomponen regularmente los microorganismos, a ello se debe que persista por largo tiempo en el medio ambiente después de su aspersión; ésto junto con su acción biológica peculiar motivó que algunos científicos tomaran cartas en el asunto, ya que se empezó a observar que el DDT no sólo acababa con los insectos nocivos sino que también mataba insectos benéficos para el hombre, y al acumularse en las cadenas alimentarias, merced a su persistencia y a su afinidad por las grasas, empezó a afectar la adecuación de aves, mamíferos y carnívoros superiores en el mar.

Finalmente, en 1962, una bióloga marina Raquel Carson - publicó un pequeño libro " La Primavera Silenciosa" que se iba a convertir en la punta de lanza, de los biólogos de todo el mundo y el público en general, contra el uso indiscriminado del DDT ( Ehrlich et al., 1977). "Afirmo -decía Raquel Carson- que hemos permitido que se usen los pesticidas con poca o ninguna investigación de sus efectos probables sobre el suelo, el agua, la vida salvaje y el hombre mismo. Es improbable que las generaciones futuras perdonen

nuestra falta de interés por la integridad del mundo natural que sustenta toda la vida del planeta" (Carson, - 1962). Ella, como otros científicos de la época, descubrió que aunque el DDT se consideraba como el menos tóxico de los pesticidas clorados y fosforados, tenía graves repercusiones tanto para el hombre como para los animales - que normalmente conviven con él; los signos de intoxicación humana son enteramente iguales a los que se encuentran en - los animales; además de la intoxicación, se manifiesta una serie de problemas relacionados con el sistema nervioso: - picazón en la lengua y alrededor de la boca y la nariz, disminución de la sensibilidad al tacto, parestesia (cosquilleo quemante de las extremidades) náusea, mareo, confusión, cefalalgia (dolor de cabeza), mal estado general e inquietud (OPS, 1982). Además se han reportado daños que inciden directamente sobre el metabolismo de los mamíferos, como la inducción de enzimas hepáticas que disminuye los niveles de estrógenos, alteración del metabolismo de la glucosa e inhibición de la enzima adenosín trifosfatasa, - que juega un importante papel en el ciclo de la energía en los seres vivos.

El Instituto Nacional del Cáncer de los Estados Unidos encontró que una dosis de 46 mg. de DDT/kg de peso, puede producir un incremento de 440% en la aparición de tumores - del hígado, pulmones y órganos linfoides de animales. En los enfermos humanos de cáncer se han encontrado niveles de 2 a 2.5 veces mayores de DDT que en el promedio de la población; los científicos soviéticos encontraron que el -- Diclorodifenildicloroetano (DDD o TDE, vendido como Rothane, OPS, 1982), un metabolito del DDT, reduce las ínsulas de Langerhaus, el sitio de la síntesis de la insulina.

En los años cincuenta se empezó a observar el daño más notorio que provocaban los insecticidas clorados a las aves, consistía en la disminución de la actividad de la -- anhidrasa carbónica, una enzima del oviducto de las aves que regula la secreción de calcio para la formación del -- cascarrón, al fallar ésta, los huevos eran puestos sólo recubiertos por una membrana y los polluelos morían aplastados por el propio peso de su madre al tratar de empollarlos, lo que provocó una fuerte disminución de aves en diversas zonas de los Estados Unidos y produjo finalmente las primavera silenciosas (primaveras sin aves cantoras, Peakall, - 1970).

El problema mayor con el DDT se derivó del hecho de que la aspersión no ubicaba todo el pesticida sobre los campos agrícolas o los bosques que debía proteger, de acuerdo con Schachter y Serwer (1971), casi un 50% de los pesticidas que se asperjan en zonas agrícolas nunca llegan a las plantas, - la mayor parte de este 50% es llevado por los vientos a la atmósfera ( Woodwell, 1967), de tal forma que se ha encontrado DDT en partículas de polvo en regiones alejadas de cualquier zona de aspersión; ya para 1969 se consideraba que no había un centímetro cuadrado de la superficie de la Tierra que no hubiese recibido una carga de DDT ( Dout y Smith, - 1971). Ante esta situación, varios países prohibieron su uso ( ¡ pero no su fabricación y exportación !) e irónicamente Suecia que había presentado la candidatura al Premio Nobel del Dr. Paul Müller, un científico que trabajaba en Suiza - con la Corporación Química Geigy y que había descubierto las propiedades insecticidas del DDT, prohibió el uso del insecticida a partir del primero de enero de 1970; Müller obtuvo el Premio en 1945 ( Carson, 1962; Walker, 1971; OPS, 1982).

En Estados Unidos se prohibió a partir de 1972 (Manahan, 1984) y otras naciones desarrolladas también lo han prohibido,

empero, como señalé anteriormente, se sigue produciendo en algunas de ellas y se produce también en diversos países en desarrollo. Otro problema emanado del empleo del DDT surgió al comprobarse que es metabolizado por diversos - organismos, incluso por el hombre, produciéndose un amplio número de metabolitos, entre ellos: el DDD (TDE), el DDE\* y el DDA\*\*; este último, de acuerdo con la opinión de White y Sweeney (1945) y otros investigadores citados por la OMS, es el principal metabolito del DDT en todos los mamíferos incluso en el hombre (OPS, 1982). El problema radica en que algunos de estos metabolitos -destaca el DDD- son más tóxicos para muchas especies que el mismo DDT (Manahan, - 1984).

La precipitación pasa los pesticidas de la atmósfera al medio ambiente marino, el aporte aire/mar es de cerca de 210 TM/año, otra ruta hacia el mar la constituyen las aguas provenientes de zonas agrícolas y urbanas. No se sabe exactamente cuánto hidrocarburo clorado existe en el océano mundial, pero debido a que es un contaminante que persiste, se calcula su vida media probable entre 10 y 50 años; la mayor parte de la cantidad total asperjada en el mundo hasta ahora terminará por penetrar en los océanos (Schachter y Serwer, 1971).

Debido a que sólo es parcialmente soluble en agua - (pero muy soluble en petróleo y otros productos químicos orgánicos), se reevapora a la atmósfera junto con el agua en proceso de codestilación (Sumich, 1980), que se repite manteniendo una carga casi constante de DDT en la atmósfera, permitiendo que los vientos lo lleven a todos los mares del océano mundial. Se han encontrado cantidades de DDT importantes en el hígado de los pingüinos antárticos, en focas árticas, en el petrel de las Bermudas y en peces en todo el océano.

---

\* 1,1'-(2,2-dicloroetenilideno)-bis[4-clorobenceno]

\*\*Acido 2,2-bis(4-clorofenil)-acético

Una vez en el agua el DDT es rápidamente absorbido sobre partículas suspendidas, y de allí o en forma directa, pasa a ejercer su acción biocida sobre los organismos marinos y sobre otros organismos que se alimentan de ellos, comprendido el hombre. Los principales daños provocados por el insecticida son: fallas reproductivas en aves marinas, inhibición de la fotosíntesis en el fitoplancton, toxicidad y fallas reproductivas en peces, y otros (UNEP, 1976).

A pesar de todos los esfuerzos realizados hasta hoy, no se ha podido determinar su modo exacto de acción bioquímica, no obstante, como muchos insecticidas, el DDT actúa -- sobre el sistema nervioso central; al igual que otros hidrocarburos clorinados se disuelve preferentemente en los tejidos adiposos y se puede acumular en la membrana grasosa que rodea a las células nerviosas, esto puede producir interferencia con la transmisión de impulsos nerviosos a lo largo del axón; se cree que la resultante disrupción\* del sistema nervioso central mata al organismo en cuestión -- (Manahan, 1984).

Los organismos marinos muestran grandes diferencias en la sensibilidad al DDT, así para el zooplancton la concentración letal empieza en 0.01 µg/l; para los peces (incluyendo alevines y juveniles) 0.1 µg/l es tóxico; el fitoplancton, los crustáceos y los moluscos, son afectados por concentraciones mayores de 1.0 µg/l (GESAMP, 1982b). Empero, el problema tiene otra dimensión, el fitoplancton es probablemente el primer habitante del mar que se enfrenta al DDT debido a su cercanía a la superficie, y constituye además la base de casi toda la cadena alimentaria del océano, por ello el daño que recibe debe repercutir a lo largo de casi todas

---

\* disrupción, perturbación del funcionamiento normal



las relaciones tróficas oceánicas ( excepción hecha de -- los organismos bentónicos de las cordilleras que se sustentan a base de las bacterias quimiosintéticas, Jannasch y Wirsen, 1977; Edmond y Van Damm, 1983; Lutz, 1985).

El efecto más aparente del DDT sobre los autótrofos marinos es que impide la fotosíntesis en concentraciones de diez partes de DDT por mil millones o más, su solubilidad en el agua de mar se ha calculado en una parte por mil millones que es sólo el 10% de las concentraciones inhibitorias del fitoplancton comprobadas en experimentos de laboratorio. Sin embargo el DDT que es soluble en las -- grasas puede concentrarse en capas de petróleo y el fitoplancton verse sometido al efecto sinérgico correspondiente ( FAO, 1971).

Al acumularse en los lípidos, el DDT se transmite a los niveles superiores de la pirámide de energía de la comunidad, el krill almacena más del 25% de su peso seco en forma de grasa y lo mismo hacen los anfípodos gamáridos, Irondella sp.: 45%; y peces como el pez dragón, Stomias atrineuter: 28%; y algunos peces, Ciclothone sp.: más del 40%. El problema principal sería para las poblaciones de copépodos, Candacia sp.: 13% o Calanus sp.: 4%; ya que como hemos dicho anteriormente constituyen en muchas áreas del océano mundial los principales constituyentes del -- zooplancton ( Benson y Lee, 1975).

De esta forma el DDT se acumula, llegando a los carnívoros superiores, aves y peces que concentran la mayor cantidad y presentan los efectos más aparentes. Tanto -- los peces de agua dulce como los marinos están contaminados casi universalmente por DDT o sus productos de descomposición, los que tienen efectos fisiológicos semejantes-

a los del propio DDT, la toxicidad directa de éste sobre los peces adultos es ya bien conocida, se ha observado mortalidad en peces que han estado expuestos a altas concentraciones (en estuarios o lagunas costeras en donde se han vertido pesticidas) incluso cuando se les cambia de ambiente al agua limpia.

El impacto biológico es directo cuando el pez que se va a reproducir tiene una dieta contaminada con DDT, y cuando hay cierto nivel del insecticida en los huevos y en la freza entonces el éxito reproductivo es bajo. Debido a su lipofilia el DDT acumulado en los huevecillos conduce a la muerte de las larvas, al absorberse en el saco de la yema en una etapa crítica del crecimiento; residuos del DDT a niveles subletales pueden afectar el comportamiento y la capacidad de reacción a la tensión ambiental, por ejemplo a los cambios de temperatura en el agua (GESAMP, 1982b).

Se ha demostrado que una concentración de 5 ppm en los huevos maduros de la trucha de agua dulce produce 100% de fracasos en el desarrollo del pez, Butler (1969) citado por la FAO (1971), comprobó una importante reducción en las poblaciones de truchas marinas de la Laguna Madre en Texas: de 30 peces/0.4 hectárea en 1964, a 0.2 peces/0.4 hectárea en 1969. Además comprobó que ningún pez joven ha sido visto allí en los últimos años, aunque en los estuarios menos contaminados, a 150 kilómetros de distancia, la distribución de las truchas marinas por edades es normal.

El mismo año, el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de los Estados Unidos inició un examen del DDT y -

otros insecticidas clorados en aguas costeras, se analizaron hígados de peces en las costas de California y Baja California (México), los resultados comprendieron -- fuertes variaciones de la concentración de DDT desde una ppm en Baja California hasta 300 ppm en la Bahía de Santa Mónica adyacente a Los Angeles. Subsecuentes análisis de los filetes de estos peces dieron concentraciones de 57 ppm en la citada Bahía, concentración que excedía en mil por ciento los límites aceptables por la Administración de Alimentos y Drogas (Sumich, 1980). Se ha detectado en estas aguas una gran existencia de anchoas -- (Engraulis mordax) con un rendimiento sostenido de 2 millones TM/año pero con concentraciones de 2.8 ppm de DDT que las hace inapropiadas para consumo humano directo. De usarse para forraje se estaría concentrando el insecticida y llegaría al hombre aún en mayor cantidad, la misma condena pende para grandes cantidades de caballas de la misma California ( 5ppm DDT) y para el salmón de Coho - introducido en el Lago Michigan - , por la misma razón.

Butler, en 1965, demostró que las especies comerciales de camarones y cangrejos perecen por su exposición al DDT en concentraciones menores de 0.2 ppm (partes -- por mil millones) las que causan mortalidad de 100% en 20 días.

El DDT perjudica también el crecimiento de las ostras en soluciones tan bajas como 0.1 ppm ( FAO, 1971). Los factores de concentración más elevados ( residuo en el organismo dividido por el residuo en el medio ambiente o en su alimento), se han encontrado en ostras y almejas las que amplifican hasta 70 mil veces la concentración del DDT ( Schachter y Serwer, 1971; GESAMP, 1982b).

Lo triste del caso es que la FAO (1971) ha calculado que aproximadamente un 99% de las plagas de insectos son controladas por medios naturales en el mundo entero. El hombre trata únicamente de luchar contra un número limitado de plagas que atacan casi todas ellas a los cultivos comerciales, no obstante, los pesticidas se han convertido en una presión de selección artificial, la que ha provocado la aparición de especies resistentes en número cada vez mayor; según los expertos de la FAO, el número de plagas resistentes a los productos químicos en 1980 era ya más del triple que en 1960 (Madeley, 1984).

El primer estudio realizado por estos investigadores en 1965 reveló 182 cepas resistentes, el segundo en 1968, 228 y el de 1977, 364 sólo de ácaros e insectos dañinos; en lo que toca a estos últimos, el estudio de 1977 muestra que en el período 1965/1975 hubo un fuerte incremento de especies resistentes entre las plagas del algodón y el arroz, cultivos que reciben frecuentes aplicaciones de plaguicidas; se demuestra que 223 plagas agrícolas se habían vuelto resistentes ya para 1977 a 9 de los principales grupos de plaguicidas (PNUMA, 1979).

En 1976 la OMS informó del aumento en el número de especies resistentes de moscos anofelinos (vectores del paludismo) al DDT, de 15 en 1969 a 43 en 1976. En los mosquitos del género Culex, que incluye los vectores de la fiebre amarilla, la filariasis y el dengue, la resistencia había aumentado de 19 en 1968 a 41 especies en 1975, registrándose casos de resistencia múltiple. Además de estos vectores principales había otras 30 especies, incluso vectores generales de enfermedades importantes

como la mosca común, la mosca negra y la pulga, que aparentemente habían desarrollado resistencia. La mosca común, parece ser el insecto con mayor habilidad para desarrollar resistencia a los insecticidas, para 1975 se habían registrado ya 121 cepas resistentes ( PNUMA, 1979).

En el último informe de la FAO ( 1980) sobre el particular se hablaba ya de 392 especies de artrópodos (insectos, ácaros y garrapatas del ganado ) resistentes a los plaguicidas, 50 especies de hongos y bacterias fitopatógenas resistentes a fungicidas y bactericidas, y 5 especies de malezas resistentes a los herbicidas ( PNUMA, 1985). La OMS informó en 1981 que había ya 51 especies de moscos anofelinos resistentes de la siguiente forma:

34 resistentes al DDT  
 47 al dieldrín  
 30 resistentes a ambos  
 10 a los pesticidas organofosfatados  
 4 a los carbamatos

y entre los moscos culicinos había ya 42 especies resistentes:

37 resistentes al DDT  
 27 al dieldrín y al hexaciclohexano  
 25 a los pesticidas organofosfatados

(El-Hinnawi y Hashmi, 1982).

A estas cifras habría que añadir la aparición de 7 especies de roedores que se han vuelto resistentes a los rodenticidas, entre ellas, las dos más importantes: Rattus rattus y R. norvegicus. De todo ello podemos concluir que los pesticidas no son ya hoy en día, si es que alguna vez lo fueron, la mejor opción para el control de

plagas y parásitos; en los años transcurridos desde "La Primavera Silenciosa", el hombre ha aprendido que hay otros caminos menos contaminantes e igual de efectivos para el manejo de estas plagas:

- control ambiental, alteraciones artificiales del micro y macroambiente de contacto entre plaga y hospedero
- técnicas genéticas y esterilización de machos
- control biológico, plagas versus depredadores naturales
- control conductual, uso de feromonas sexuales y otras
- formación de resistencia, variedades mejoradas de plantas y animales

(PNUMA, 1979).

la combinación y uso sostenido de estos cinco tipos de controles ayudaría al hombre a regular las plagas y culminaría la contaminación oceánica por pesticidas.

Sólo hemos dado un breve repaso a uno de los muchos pesticidas que llegan al océano mundial, y ante la imposibilidad material y temporal de repasarlos a todos, me concretaré a señalar los 21 que se encuentran más comúnmente en el agua: Aldicarb o Temik, Aldrín-Dieldrín, Clordano, Clorofenoxi, Demetán, Endosulfán, Endrín, Guthión, Heptaclor, Lindano, Malatión, Metaxoclor, Mirex, Metilparatión, Toxafeno, Carbaryl o Sevín, Diazinán, Carbofurán, Picloram, Diquat y Paraquat (Manahan 1984).

Difenilos Policlorados (DPC). - los DPC forman un conjunto de compuestos químicos cuyo conocimiento data de 1881, sin embargo, sus primeras aplicaciones en la industria se iniciaron hacia 1929/1930 (Legaspi, 1985a).

Constituyen un grupo de unos 210 compuestos diferentes obtenidos a partir de la cloración, con ácido clorhídrico, del difenilo; pueden estar presentes en varias combinaciones en los productos comerciales y se identifican generalmente por su porcentaje de cloro en relación a su peso total ( Manahan, 1984 ; RIPQPT, 1985). Las propiedades físicas y químicas de estas mezclas incluyen:

- extrema estabilidad térmica, baja flamabilidad
- inercia química, resistencia a ácidos y álcalis, a la oxidación e hidrólisis
- baja presión de vapor y solubilidad en agua
- elevada constante dieléctrica

estas propiedades los han hecho útiles en una gran variedad de aplicaciones, pero a la vez, estas mismas propiedades contribuyen a su gran estabilidad/persistencia ambiental ( Manahan, 1984; Legaspi, 1985).

Debido a su alta estabilidad química y térmica se les pueden dar innumerables aplicaciones, entre ellas: preventivos de la corrosión en la aplicación y preparación de adhesivos para superficies metálicas y plásticas; mezclados con asfalto se les aplica en recubrimientos de metales, maderas y concretos; agregados a tintas, barnices, azulejos para pisos, hule natural y sintético, se hacen resistentes a la oxidación y a la acción química corrosiva; todos estos materiales agregados a tintas se usan en la elaboración de algunos tipos de papel sensible a la presión; debido a su baja flamabilidad tienen gran uso como plastificantes o aditivos en aceites lubricantes para corte ( Legaspi, 1985).

Se usan también como líquidos dieléctricos en los transformadores y capacitores, como líquidos para la transferencia de calor, como líquidos hidráulicos y en la fabricación de plaguicidas ( RIPQPT, 1980 y 1985).

En 1966, buscando restos de plaguicidas en diversas especies del Mar Báltico, un científico sueco, S. Jensen, identificó los DPC en una águila muerta cerca de Estocolmo ( -- Waldbott, 1978), a partir de entonces, se empezaron a identificar poco a poco sus efectos deletéreos, entre ellos: pérdida de peso, ataxia, diarrea y cromodiacrorrea con deshidratación progresiva, ulceración de las mucosas gástrica y duodenal, vacuolización hepática y renal, y como causa de muerte depresión del sistema nervioso ( Legaspi, 1985). Además han sido causa de cáncer y defectos de nacimiento en animales de laboratorio; se sospecha que son carcinógenos para el hombre y causan efectos adversos en la piel y el hígado ( RIPQPT, 1985).

Debido a todo ello, el 31 de mayo de 1969, la APA promulgó una reglamentación definitiva prohibiendo la fabricación, transformación, distribución en el comercio y utilización de los DPC ( RIPQPT, 1980). Japón tenía ya una reglamentación al respecto surgida de la catástrofe ambiental de 1968, y otros países y zonas productoras como la URSS y Europa adoptarían posteriormente las suyas, empero, en 1971 la producción anual de la OCDE\* ascendía a 48,400 TM frente a las 34,000 TM producidas anualmente en los Estados Unidos, y se calculaba conservadoramente que desde 1930 se habían consumido cerca de un millón de TM.

El problema para la biosfera es que los DPC se esparcieron por el mundo y se concentraron en las cadenas tróficas durante más de 30 años, hasta el descubrimiento por Jensen en 1966 de su carácter contaminante y tóxico.

---

\* Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos



Hoy en día está de sobra comprobado que los DPC se encuentran por todas partes en el ambiente, se dispone de un enorme volumen de información sobre su presencia en las aguas oceánicas y dulces, en la atmósfera y en los sistemas biológicos (RIPQPT, 1985). Por lo general el transporte y la difusión de los DPC en el medio ambiente se producen en gran parte por vía atmosférica, aunque el transporte por agua influye en buena medida en su liberación en las aguas litorales. Las pruebas de que se dispone actualmente hacen pensar que el ambiente del océano abierto constituye un importante sumidero de DPC. El flujo total oceánico proveniente de la atmósfera se ha calculado en 2,000 TM anuales, aproximadamente el 4% de la producción mundial de 50 mil TM (GESAMP, 1980c).

Los DPC están ampliamente distribuidos en las aguas superficiales y en los sedimentos del fondo en las regiones más industrializadas de la Tierra. Siendo transportados al océano abierto principalmente por el aire, su destino final son los sedimentos marinos, en donde son absorbidos y liberados muy lentamente a la columna de agua y a los organismos vivos. Investigaciones recientes indican que los microorganismos marinos pueden transformar los DPC pero el proceso es muy lento (GESAMP, -- 1982b). También se sabe que los DPC pueden formarse de manera natural en el mar por oxidación de los pesticidas organoclorados (Holdgate et al., 1982).

Los máximos niveles de residuos de DPC se han encontrado en organismos que habitan cerca de zonas urbanas y/o industriales. En peces se han reportado valores menores de 0.1 µg/kg de peso húmedo en áreas no contaminadas, pero ahí en donde existen importantes aportes de

DPC los residuos se ubican muy por encima de 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso húmedo y se han encontrado valores de hasta 300  $\text{mg}/\text{kg}$  de grasa extraída.

Con frecuencia el nivel de residuos se relaciona con la posición del organismo en la cadena trófica, pero no siempre es el caso y deben evitarse las extrapolaciones de datos. Los isómeros con tres o menos átomos de cloro son metabolizados lentamente y esto conduce, en la mayoría de las especies, a niveles progresivamente mayores de los DPC en la cadena alimentaria así como de tetra, penta, hexa, hepta u octa fenilos. Los estudios de vigilancia realizados muestran que en algunas áreas están disminuyendo los residuos de DPC, de acuerdo con las restricciones a su uso impuestas en varias naciones a partir de 1980, pero la tasa de desaparición es muy lenta y no está aún firmemente demostrada. En otras áreas no obstante, a pesar de que los aportes disminuyen, los niveles residuales o bien son estacionarios, o bien se están incrementando debido probablemente a la existencia de ciclos de acumulación.

Para los peces y otros organismos marinos la toxicidad aguda es mayor para mezclas con bajo contenido de cloro y hay un efecto acumulativo. Los valores de concentración letal para la trucha arcoiris por ejemplo van de 38  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Aroclor 1,248 R) a 326  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Aroclor 1,260 R) para una exposición de 10 días, mientras que el CL 50 ( concentración que mata el 50% de los animales de prueba) para las mismas mezclas son respectivamente: 6.4  $\mu\text{g}/\text{l}$  y 49  $\mu\text{g}/\text{l}$  (GESAMP, 1982b). Hay que señalar que los peces son más sensibles en las primeras etapas de vida, y lo mismo se aplica a los invertebrados marinos que además como adultos son más sensibles que los peces .

Hay diversos efectos de los DPC sobre los organismos marinos que se han identificado y descrito a partir de estudios de laboratorio. A concentraciones elevadas estos efectos van de mortandad a retardo en el crecimiento, impedimento de la reproducción en peces e invertebrados, incremento en la actividad tiroidea de los peces y reducción de las reacciones de compensación natural a la tensión ambiental y a las enfermedades. En los mamíferos, se ha sugerido que la ingestión de DPC puede conducir a perturbación en las funciones sexuales, y recientemente se han correlacionado defectos en la reproducción de las focas del Báltico, con altos niveles de DPC en los padres (GESAMP, 1982b).

Se ha encontrado que los DPC son también altamente tóxicos para los crustáceos marinos, ello se descubrió a raíz de un vertido accidental de difenilos en la Bahía Escambia en Florida que provocó una gran mortandad de camarones (UNEP, 1976). De estudios realizados por Portman (1972) y McKee y Wolf (1963), citados en UNEP (1976), se han logrado determinados niveles de toxicidad (CL 50) para un cierto número de organismos marinos usando como referencia los DPC: Aroclor 1,248, 1,254 y 1,260 y Clofén A 30 y A 60; los organismos con daño reportados son: el camarón café, Crangon crangon y los peces: Pleuronectes limanda, P. flesus, P. platessa, Agonus cataphractus y el salmón chinook, Oncorhynchus tshawytscha. Jensen y su grupo de investigación en Suecia determinaron concentraciones importantes de DPC y DDT en los siguientes organismos: mejillón, Mytilus edulis; arenque, Clupea harengus; platija Pleuronectes platessa; pez perro, Squalus acanthias; salmón, -- Salmo salar; bacalao, Gadus morhua; foca gris, Holichaerus grypus; foca común, Phoca vitulina; foca anillada, Pusa hispida; arao común, Uria aalge; águila de cola blanca, Haliaeetus albicilla y garza, Ardea cinerea (UNEP, 1976).

En cuanto a la foca, el impacto biológico producido por los DPC provocó que en una muestra de hembras en edad reproductiva sólo el 27% estuvieran preñadas, comparado con regiones de menor contaminación como el Mar de Okhotsk en donde se observó preñez en 80 a 90% de la población femenina reproductiva ( Holdgate et al., 1982). Estos estudios no significan que sólo encontremos DPC en los mares del norte del planeta, aunque es cierto que la producción de estos compuestos se realiza principalmente en el hemisferio norte su uso se concentra en un cinturón que va de 45° lat.N. a 45° lat.S., correspondiendo la mayor porción del hemisferio sur a Sudamérica. De hecho ha habido un corrimiento en el consumo hacia zonas ecuatoriales y australes desde 1960; esta distribución ha ampliado y diversificado no sólo nuevas zonas contaminadas del océano mundial con los DPC sino también ha expuesto un mayor y más diverso número de organismos marinos a la ingestión y efectos nocivos de esas sustancias.

La ingesta la realizan los organismos marinos a través de dos conductos, el agua y el alimento. La acumulación de DPC como la de otros compuestos orgánicos se relaciona directamente con su solubilidad en los lípidos y su resistencia a la degradación enzimática e inversamente a su solubilidad en el agua.

El principal proceso metabólico in vivo es la hidroxilación, que convierte DPC a compuestos fenólicos solubles en agua que eventualmente son excretados. La tasa de hidroxilación depende de la actividad de ciertas enzimas (las oxidasas de función combinada de los microsomas hepáticos) que es muy baja en los peces, en contraste con los mamíferos, y disminuye con la creciente clorinación del contaminante. Empero, la bioacumulación no está claramente

correlacionada con el número de átomos de cloro ya que el metabolismo es sólo uno de los factores relevantes (GESAMP, 1982b).

De esta forma, los peces y otros organismos marinos acumulan los DPC; cuando los peces por diversas razones son destinados a la producción de harina de pescado, usada como pienso en vacas y aves de corral, los DPC se acumulan nuevamente y son transmitidos al hombre a través de la leche y de los huevos. El nivel de DPC en los pescados utilizados como alimento, suele ser inferior a 0.1 mg/kg, pero en peces de aguas contaminadas se han detectado niveles superiores a 1 mg/kg, (PNUMA, 1981).

El consumo directo de carne de vaca o gallina, o bien el de sus productos, ha llevado a otro problema resultante de la acumulación en las grasas humanas. Varios estudios han demostrado la presencia de altos niveles de contaminación en la leche materna, también se encuentran en ésta metabolitos solubles en la grasa, se han notificado residuos entre 0.5 y 4.0 µg/kg, (base grasa); estas concentraciones son unas 20 veces más elevadas que los valores observados en la leche de vaca, ello representa un elevado riesgo de impacto biológico para los niños, organismos pre-reproductivos de la población humana, ya que los estudios toxicológicos muestran que si bien los DPC no son mutágenos, sí pueden actuar como promotores de tumores cancerosos, además, afectan la reproducción de los mamíferos y se han observado estos efectos adversos hasta la segunda generación (RIPQPT, 1985).

Hidrocarburos halogenados de bajo peso molecular:  
Clorocarbonos. - debido a su baja presión de vapor, estos compuestos se encuentran constantemente en la atmósfera,

sobre una base global se puede decir que los tres más abundantes son:

	(a)
tetracloruro de carbono ( $\text{C Cl}_4$ )	0.12 ppbv *
cloruro de metilo ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ )	0.61 "
metilcloroformo ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ )	0.10 "

(a) concentración troposférica promedio

\* partes por billón por volumen

De estos tres, el tetracloruro de carbono y el cloroformo son de origen antropogénico, cerca de 700 mil TM - de metilcloroformo son liberadas a la atmósfera cada año como resultado de su producción industrial y de su uso - (Manahan, 1984).

Tomando como ejemplo de estos clorocarbonos al tetracloruro, Lovelock et al., (1973) citados en GESAMP, -- (1980c) han calculado que el flujo total anual aire/mar - es de 14 mil TM, de acuerdo con el RIPQFT (1981); sus principales aplicaciones son: antihelmíntico, agente desecante azeotrópico para bujías húmedas, tintorería, extinguidor de fuego, fumigante de granos, insecticida, fabricación de clorofluorometanos, para dar inflamabilidad a la bencina, rodenticida, solvente, material base para fabricar diversos compuestos orgánicos.

La carga total del ambiente, en 1974, se calculó en un millón de TM, se han encontrado concentraciones en peces que van de 0.1 a 209  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ps y en moluscos de 2 a 114  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ps, lo que habla de una elevada bioconcentración, ésta a su vez produce, de acuerdo con estudios realizados en truchas, tumores cancerosos hepáticos; es tóxico para embriones de peces y larvas a concentraciones de 3.4 mg/l y para peces adultos la toxicidad va desde 50 hasta 150 mg/l (IRPTC, 1981).

Clorofluorocarbonos (CFC), - los CFC o freones han sido utilizados por años como fluidos en mecanismos de refrigeración y todavía como propelentes en envases metálicos formando aerosoles de desodorantes, fijadores de pelo, espumas para rasurar, espermaticidas, etc. Los CFC más ampliamente utilizados son:

diclorodifluorometano (FC-12),  $\text{Cl}_2 \text{CF}_2$  que hierve a  $-28^\circ\text{C}$

triclorofluorometano (FC-11),  $\text{Cl}_3 \text{CF}$  que hierve a  $+28^\circ\text{C}$

Otros compuestos CFC producidos comúnmente por la industria son: triclorotrifluoroetano (FC-113),  $\text{CCl}_2 \text{FC Cl F}_2$ , y el diclorotetrafluoroetano (FC-114),  $\text{CCl F}_2 \text{CCl F}_2$ . La producción mundial aproximada es de 500 mil TM anuales (Manahan, 1984). De esta cantidad se calcula que se transfieren de la atmósfera al mar, solamente del FC-11: -- 5,400 TM/año (GESAMP, 1980c), no obstante, hay una buena proporción de CFC que se precipitan al mar provenientes del aire que los transporta; el daño principal a la comunidad oceánica por causa de estos compuestos se inicia sobre el fitoplancton y de manera indirecta a través de su papel en la desintegración de la capa de ozono atmosférica, lo que se discutirá ampliamente en el capítulo sobre la atmósfera.

Otros desechos tóxicos arrojados a los océanos comprenden también los desperdicios en recipientes, y aunque se ha insistido sobre el particular muchos gobiernos se muestran renuentes en revelar qué arrojan y en dónde lo arrojan. Lo que sí sabemos es que hace ya tiempo que se viene ejercitando esta práctica en los océanos y que aún continúa. Los índices sorprendentemente altos de arsénico en el Mar Báltico llevaron al descubrimiento reciente de

que allí se habfan arrojado 7 mil TM de arsénico hace 40 años en recipientes de concreto. Se dice que esta cantidad bastaría para matar tres veces a la población mundial si fuera debidamente administrada; el elevado nivel encontrado recientemente demuestra que los envases han sufrido algún tipo de desgaste provocando fuga al océano. En el mismo Báltico, en las costas suecas, ha habido casos de pescadores quemados por pescado contaminado con gas mostaza alemán, arrojado allí por los aliados después de la Segunda Guerra Mundial ( Schachter y Serwer, 1971).

Desde los años cuarenta, el ejército de los Estados Unidos ha arrojado al Golfo de México envases conteniendo gas neurotóxico ( Ingmanson y Wallace, 1979).

Petróleo.- el consumo mundial del petróleo ha crecido en gran forma durante el presente siglo, en 1900 se consumían 20 millones de TM, para los años setenta el consumo era de 3,000 millones de TM; el mayor incremento (2,000 millones de TM) se dio a partir de 1960, de la misma manera el volumen de descarga a los océanos ha seguido un patrón similar ( Wade, 1980). Ello se debe probablemente al hecho de que el petróleo es el combustible fósil y la fuente de energía más versátil de que se ha hecho uso. La destilación del petróleo crudo produce una gran variedad de productos refinados, desde la gasolina, destilados medios ( como keroseno), aceites combustibles, aceites diesel, combustible para aviones jet, grasas, aceites lubricantes y aceites residuales generalmente asfálticos. Los sistemas modernos de transporte, la industria petrolquímica y diversos sistemas demandantes de energía no pueden operar sin estos productos. Desde luego, el petróleo ha jugado recientemente un papel central en la estructura socioeconómica del mundo, no compartido por ninguna otra fuente de energía (UNEP, 1979a).



El petróleo es una mezcla de muchos compuestos y un petróleo crudo puede contener miles de componentes diferentes. Petróleos crudos de origen diverso ofrecen acusadas diferencias en su composición y propiedades físicas así como en las concentraciones relativas que los componen. Los diversos procesos de refinado a los que se somete el petróleo para producir materiales destinados a usos especiales tienen por objeto aislar las partes específicas de los compuestos, pero incluso los petróleos refinados siguen siendo mezclas completas de muchos tipos de hidrocarburos (FAO, 1971).

Estos componentes del petróleo van desde el metano gaseoso hasta las parafinas sólidas. La gran mayoría de estos compuestos son hidrocarburos que no se mezclan con el agua y son compuestos químicamente inactivos. Por desgracia, la fracción del crudo más fácil de atacar por las bacterias en el océano es la menos tóxica, los alcanos inferiores o parafinas normales, los que se pierden rápidamente por evaporación y son biodegradables. Los hidrocarburos aromáticos tóxicos, especialmente los polinucleares aromáticos carcinógenos (HAP) son los más solubles, pueden fotodegradarse y son difíciles de atacar (FAO, 1971 y UNEP, 1979a). En general, las más pequeñas moléculas en cada fracción son más tóxicas y más volátiles que las grandes moléculas, de allí la baja toxicidad de un crudo que ha sufrido el intemperismo en relación a uno recién liberado al océano. De hecho todos los petróleos crudos contienen elementos que son tóxicos para los organismos marinos (FAO, 1971). Su composición depende de su origen. Hay crudos pesados (alto contenido de moléculas grandes de hidrocarburos) y crudos ligeros (elevado contenido de pequeñas moléculas de hidrocarburos);

pueden contener mucho azufre ( Kuwait 2.4%) o ser " dulces" ( Mar del Norte cerca de 0.3% de azufre). Los productos de su refinación, por ejemplo gasolinas, keroseno, diesel, aceites residuales tienen composición más homogénea y algunos de ellos son mucho más tóxicos que el petróleo crudo del que derivan ( UNEP, 1979a).

Ello no significa que el petróleo sea una sustancia nueva y/o desconocida para el medio ambiente marino. Muchos hidrocarburos se presentan de manera natural. Por ejemplo los organismos marinos sintetizan una amplia variedad de hidrocarburos que son importantes como componentes de estructuras esqueléticas o como pigmentos de atracción ( sexuales ), inhibidores, etc. ( Wade, 1980). La producción biótica de alcanos excede con mucho las descargas de petróleo en el mar ( GESAMP, 1982b). Asimismo, algunos sedimentos contienen porciones significativas de petróleo que son descargadas al mar de manera continua, y también ocurren filtraciones naturales de depósitos localizados por debajo del lecho marino. En 1971 estos aportes naturales se calculaban en varios millones de TM debidos a la descomposición de plantas y animales y a las filtraciones (Schachter y Serwer, 1971). Pero un cálculo de Wilson et al., de 1974, citado en GESAMP (1977), deja la cifra en 600 mil TM para las filtraciones naturales.

Por lo tanto, es incorrecto creer que todos los hidrocarburos en el océano mundial están allí debido a la acción del hombre contemporáneo. Ya Herodoto menciona la existencia de petróleo en el mar llamándolo "mucosidad" ( Sálnikov, 1984), igualmente equivocado es asumir que el medio ambiente marino es incapaz de manejar cualquier petróleo presente. De hecho, la información disponible

indica que la tolerancia de los organismos marinos al intervalo normal de fondo de los niveles de petróleo en el mar, puede ser muy elevada y que incluso en ocasiones cuando se exceden estos niveles se detectan pocos o ningún efecto ambiental. No obstante, la habilidad del medio ambiente marino para enfrentarse a ciertos niveles de petróleo no se puede dar por descontada o por segura y en ninguna forma debe asumirse que es ilimitada. El principal peligro proveniente del petróleo surge de los drásticos incrementos, señalados en años recientes, sobre todo para las regiones costeras en donde ocurre la perforación, refinación, transporte y accidentes (Wade, 1980).

Hemos señalado ya que el ingreso total de petróleo al océano mundial oscila entre 2 y 20 millones de TM -- anuales, independientemente de la cifra que consideremos como más cercana al valor real promedio (SCEP, 1970: 11 millones de TM; GESAMP, 1982b: 6 millones de TM), -- las rutas petroleras seguidas por los buques-tanque se encuentran entre las más contaminadas. A manera de ejemplo, consideremos la región suroccidental del Océano Indico por donde circulan 475 millones de TM/petróleo/año. Se dice que en cualquier momento hay allí un promedio de 224 buques-tanque, lo que unido a 220 barcos de carga y 200 de pesca da un gran total de 644 barcos/día en la región ( sin considerar las flotas de guerra de diversas naciones que cuidan de sus intereses en el área); esto implica por supuesto un gran potencial de contaminación por petróleo y sus derivados; el cálculo es de 33,440 TM/año descargadas al océano por estos barcos (Ferrari, 1983). Si tomamos en cuenta que una sola TM de petróleo

puede cubrir 1,200 hectáreas de superficie marina - Voronov et al., 1979), la resultante es mayúscula, más de 40 millones de hectáreas.

Del petróleo total mundial que cae al océano, incluyendo el que proviene de la atmósfera (600 mil TM/año), parte se evapora y parte se deposita, de la parte evaporada, la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos concluyó en 1978 que: " se establece un ciclo de hidrocarburos del petróleo entre el océano y la atmósfera en el cual:

- a) hay un flujo neto de compuestos de bajo peso molecular del mar al aire
- b) los compuestos menos estables sufren en la atmósfera una conversión de gas a partícula
- c) las formas particuladas regresan al mar por procesos de precipitación y como depósito seco "

(GESAMP, 1980c).

el resto, la fracción que no se evapora, se presenta en el océano en cinco formas diferentes:

- como grandes partículas ( bolas de alquitrán)
- como micropartículas ( gotitas)
- adsorbido sobre materia particulada como: cieno, detritus y fitoplancton
- disuelto en el agua de mar
- formando emulsiones de agua en aceite

(GESAMP, 1977) .

Los datos más recientes indican que más del 99% de los hidrocarburos petrolíferos, en la columna de agua marina, están concentrados en la microcapa superficial ( aproximadamente los 30 cm superiores del agua) en estado disuelto ( 60% ) y el resto en forma suspendida - ( GESAMP, 1985a).

De acuerdo con científicos soviéticos que utilizaron fotografías tomadas desde el cosmos a bordo de satélites artificiales, de 15 a 30% de la superficie del océano está cubierta constantemente con una película de petróleo (Sálnikov, 1984). Cifra que supera con mucho la propuesta por el Centro de Datos Oceanográficos Alemán, en Hamburgo, de 0.015% elaborada a partir de promedios extrapolados (GESAMP, 1985a); pero que concuerda de alguna manera con la relación : una TM que cubre 1,200 hectáreas, considerando un vertido anual promedio de 6 millones de TM se cubren 72 millones de  $\text{km}^2$  aproximadamente, la quinta parte de la superficie oceánica mundial.

Cualquiera que sea este valor, lo cierto es que gran parte de las regiones litorales más importantes del mundo se encuentran frecuentemente con una superficie contaminada. El problema no es tanto la extensión cubierta por petróleo que comprendiese el océano abierto, ya que como hemos dicho este puede considerarse como un desierto biológico, lo que nos interesa es la contaminación de las zonas más productivas de la costa continental e insular.

La capa superior del mar, y particularmente la microcapa superficial, es un ambiente marino único y los organismos vegetales y animales deben adaptarse de manera especial para sobrevivir en las condiciones hostiles ( temperaturas extremas, fluctuaciones en la salinidad, radiación solar intensa con longitudes de onda ultravioleta -- destructiva y constante agitación ) de este habitat. Algunas especies microscópicas, particularmente bacterias y el microneuston heterotrófico, parecen sobrevivir en esta microcapa superficial del mar (GESAMP, 1980c).

Otras especies menos resistentes del fitoplancton y microzooplancton habitan los 10 cm superiores del mar, pero aún pueden tener un impacto sobre la microcapa superficial a través de sus productos metabólicos. La mayor parte de las especies más grandes del fito y zooplancton viven por debajo del metro superior del océano. El pico de producción del fitoplancton normalmente ocurre entre 5 y 10 metros, alejado de la radiación solar más intensa de la superficie; el zooplancton con frecuencia lleva a cabo migraciones diurnas, ascendiendo hacia la superficie en el crepúsculo y descendiendo hacia aguas más profundas al amanecer (GESAMP, 1980c).

El petróleo derramado sobre la superficie del mar - puede formar una película de 0.01 a 0.1µ de espesor; esta película puede tener varias implicaciones para la vida oceánica:

- los contaminantes lipofílicos (DPC, pesticidas - clorinados, formas orgánicas de los metales pesados, etc.) pueden acumularse en estas películas superficiales orgánicas, contaminantes o naturales, aumentando el tiempo de residencia del contaminante y por lo tanto su tránsito a través - del límite aire/agua de la superficie
- cuando la película es lo suficientemente gruesa - (cerca de la fuente contaminadora) puede proveer una barrera a la evaporación o al flujo de calor. No obstante, ello reduce la intensidad de ambas, las olas superficiales muy pequeñas y el movimiento de turbulencia, en los centímetros superiores - del agua

- puede modificarse el albedo de la superficie ya que una película de aceite refleja mayor cantidad de radiación que la superficie acuosa

Experimentos realizados indican que estos efectos de superficie pueden provocar cambios de cerca de 0.5 °C y pueden tener cualquier signo ( menos o más 0°C, SHIC, 1971; GESAMP, 1985a).

Por ahora nos interesa más su efecto biológico y por ende la acción de los contaminantes en su seno. Además de los aceites vertidos por el hombre al océano mundial existen películas de origen natural. Se cree que la mayoría de las películas naturales sobre la superficie del mar son producidas por secreciones liposas de los organismos marinos y que su intensidad y características químicas varían con el estado de su desarrollo. Desafortunadamente aún es difícil distinguir químicamente los hidrocarburos biogénicos de los del petróleo. Amén de los aceites, los fragmentos de glicoproteína ( carbohidratos) del fitoplancton muerto hacen una contribución importante a los materiales particulados en la microcapa superficial ( GESAMP, 1980c).

Además de la descarga de petróleo natural muchos otros productos derivados de la refinación petrolera llegan al océano mundial. Las mismas refinerías producen descargas de diversos compuestos. El petróleo es el principal contaminante liberado en los afluentes; de la refinación también se encuentran presentes: sulfuros, mercaptanos, cianuros, amoníaco, fenoles y sales inorgánicas, además de trazas de ciertos metales pesados ( CONCAWE, 1980). Otra fuente - tal vez la más importante - la constituyen los hidrocarburos procedentes de las emisiones de los ---

vehículos automotores usados en tierra, que se precipitan desde la atmósfera ( Main, 1972).

Se estima que en los Estados Unidos, los vehículos de motor contribuyen con cerca del 65% a todo el monóxido de carbono antropogénico y cerca del 46% de todos los hidrocarburos antropogénicos emitidos a la atmósfera. Hoy en día existen regulaciones en diversos países para reducir la emisión de hidrocarburos no quemados, no obstante se calculaba en 1979 que entre 1972 y 1985 la población mundial de automóviles se elevaría de 208 millones a 373 millones de unidades, con este tipo de incrementos (180% en 14 años: cerca de 13% de incremento anual) será difícil, a pesar de las especificaciones más estrictas, que se reduzcan sensiblemente los aportes a la atmósfera y de allí a los océanos.

El resultado de todo ello es que tenemos importantes concentraciones de petróleo y derivados en todos los océanos de la Tierra; en el Atlántico norte y mares adyacentes van de 0.2 a 15  $\mu\text{g}/\text{l}$  en la microcapa superficial, con valores de 1 a 8  $\mu\text{g}/\text{l}$  en aguas encerradas y contaminadas tales como el Golfo de San Lorenzo o el Báltico. En el Pacífico, las concentraciones alcanzan 380  $\mu\text{g}/\text{l}$  en partes del océano suroccidental y el Mar del Japón, y 200  $\mu\text{g}/\text{l}$  en áreas del océano noroccidental y suroccidental. En las aguas superficiales del Mediterráneo las concentraciones caen en el intervalo de 4 a 2 mil  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

Las concentraciones disminuyen con la profundidad, -- por ejemplo una estación medidora cerca de las Bermudas -- registra un máximo superficial de 6  $\mu\text{g}/\text{l}$ , disminuyendo a cerca de 3  $\mu\text{g}/\text{l}$  a 100 metros, 1  $\mu\text{g}/\text{l}$  a mil metros y 0.0 -- por debajo de 2 mil metros de profundidad.



Los sedimentos pueden acumular hidrocarburos petroleros, en el puerto de Nueva York se han observado concentraciones de 39  $\mu\text{g}/\text{l}$  ( Holdgate et al., 1982). Iliffe y Calder en 1974 ( citados en GESAMP, 1977) demostraron haber encontrado concentraciones de 12 a 47  $\mu\text{g}/\text{l}$  en tres estaciones del Golfo de México, de muestras tomadas en la superficie y cerca de la costa (GESAMP, 1977).

Una vez que el petróleo es vertido en el océano está inmediatamente sujeto a una variedad de procesos físicos, químicos y biológicos que determinan su distribución y destino. Después de un derrame son importantes los primeros días, la dispersión y evaporación, junto con otros procesos fotoquímicos y oxidativos. Después de este período es significativa la degradación por microorganismos, particularmente de las fracciones parafínica y oleofínica. El petróleo es degradado por ambos, bacterias marinas y hongos filamentosos. En algunos casos, la tasa de degradación está limitada por los nitratos y fosfatos disponibles.

La forma física del crudo vertido hace la diferencia en su degradación, esta ocurre en la interfase petróleo/agua, por lo tanto capas gruesas de petróleo crudo evitan el contacto con las enzimas bacterianas y con el oxígeno. Aparentemente las bacterias sintetizan un emulsificante que mantiene dispersado el petróleo en el agua en forma de un coloide fino, accesible a las células de los degradadores (Nanahan, 1984).

Ya para 1977, se habían identificado 90 especies de microorganismos ( bacterias y hongos) capaces de subsistir a base de petróleo y por lo tanto capaces de degradarlo por oxidación biológica. La amplitud de esta degradación

depende de la temperatura del agua y la presencia de - ciertas fracciones volátiles ( nafta y keroseno) en el derrame, algunos componentes de los cuales son bacteri- cidas o bacteriostáticos. Virtualmente toda clase de petróleos son susceptibles de degradación microbiana, - pero el factor más importante que influye en la biodegradabilidad de los hidrocarburos parece ser la configu- ración molecular. Los alcanos son atacados por más especies de microbios, más rápidamente y con mayor cre- cimiento sostenido que los compuestos aromáticos o naf- ténicos. Algunos de ellos como los hidrocarburos aromá- ticos polinucleares ( de gran significado debido a su - carcinogenicidad comprobada) son oxidados a formas a - partir de las cuales ya no es posible la desintegración bacteriana, aunque de acuerdo con Izrael y Tsyban, las- bacterias pueden destruir hasta el 50% de estos compues- tos molecularmente estables como los benzopirenos - - (GESAMP, 1982b).

Existen evidencias de que cada petróleo tiene una -- composición característica que afecta su degradación mi- crobiana, algunos petróleos son degradados más completa- mente que otros. Algunas fracciones son más fácil y rá- pidamente degradadas mientras que otras persisten y son -- lentamente degradadas, si es que lo son (GESAMP, 1977).

A este respecto deben considerarse también las tem- peraturas ambientales, ya que en las zonas tropicales hay elevadas tasas metabólicas asociadas con la elevada tem- peratura ambiental, mientras que en las regiones árticas la degradación bacteriana del petróleo es extremadamente lenta y puede tomar años, tal vez décadas, dependiendo -

del volumen y tipo del petróleo en cuestión ( UNEP, 1979a) lo que implica, claro está, que los organismos estén sujetos por más tiempo a los efectos de las fracciones tóxicas (GESAMP 1982b).

La flora microbiana de un ambiente contaminado con petróleo difiere de aquella de un ambiente no contaminado, "prístino", y degradará el petróleo de forma y a velocidad diferente.

Si existió previamente petróleo en el ambiente habrá habido una selección de microorganismos degradadores, y la degradación puede ocurrir más rápidamente, ello no implica necesariamente que sea más completa. En 1975, Walker y Colwell reportaron un alga aclorofílica que degrada petróleo. Así que ahora incluso debemos empezar a considerar a las algas en la determinación de la capacidad de una comunidad de microbios para degradar petróleo. Entre los diversos grupos de organismos que participan en la degradación están:

bacterias: Flavobacterium, Brevibacterium y Arthro --  
bacter spp.

hongos : Penicillium y Cunninghamella spp.

levaduras: Candida spp.

(GESAMP, 1977).

Uno de los problemas más importantes, que se deriva de la oxidación o degradación del petróleo por las bacterias, se refiere al agotamiento del oxígeno disuelto en el agua del cual depende la vida marina. En condiciones normales, la oxidación completa de un litro de petróleo despoja de su oxígeno disuelto a unos 400 mil litros de agua de mar (Zobell, 1964, en Schächter y Serwer, 1971).

Si consideramos los ingentes volúmenes de petróleo que se descargan al océano mundial cada año, y tomamos en cuenta que la distribución del mismo no es homogénea a través de la columna de agua, se comprenderá que a pesar de la vastedad oceánica y del gran volumen de agua contenido en las cuencas, nuevamente la descarga de petróleo en las costas continentales debe producir un impacto biológico en la comunidad marina litoral debido a este factor.

Efectos de las descargas de petróleo sobre la biota oceánica.- los efectos físicos y químicos incluyen:

- interferencia con el intercambio de gases implicando la transferencia de oxígeno y dióxido de carbono a través de la interfase aire/mar
- efectos sobre los organismos y sustratos marinos - debido a la elevada temperatura producida por absorción de la radiación solar por las películas de petróleo
- absorción de pesticidas y metales por películas y capas de petróleo sobre la superficie del mar y el efecto que esto pudiera tener sobre los organismos marinos (GESAMP, 1977).

los efectos biológicos son fundamentalmente de dos tipos, - letales y subletales:

- efectos letales, ocurren cuando los componentes del petróleo interfieren con procesos celulares y subcelulares en el organismo a tal grado que le provoquen la muerte. En casos severos éstos pueden tomar la forma de asfixia, obstrucción o interferencia con los movimientos necesarios para obtener alimento o escapar a los depredadores, como resultado de estar cubierto el organismo con petróleo

- efectos subletales, son aquéllos que detienen o perturban las actividades fisiológicas o de comportamiento pero que no causan mortalidad inmediata, aunque ésta pudiera presentarse debido a la interferencia con las actividades alimentadas y reproductivas, crecimiento o comportamiento anormales, mayor susceptibilidad a la deprecación, menor habilidad para colonizar, u otras causas indirectas. Estos efectos pudieran no sólo conducir a cambios en las poblaciones de especies individuales sino también resultar en corrimientos en la composición y diversidad de las especies (GESAMP, 1977).

los efectos que el petróleo pueda tener sobre los organismos en el océano dependen de un gran número de factores, que actúan tanto a nivel individual como en combinación. Así pues, el daño biológico dependerá de:

- el tipo de petróleo implicado, particularmente con respecto a su contenido de compuestos aromáticos
- la dosis de petróleo a la que esté expuesto el organismo y la duración de la exposición
- si el petróleo se encuentra en forma fresca, -- intemperizada o emulsionada
- si está en solución, suspensión, dispersión o adsorbido sobre material particulado
- qué especie de ya sea plancton, pleuston, necton o bentos están implicadas
- la estación del año con respecto al ciclo anual del organismo y si éste está en estado latente o activamente alimentándose y reproduciéndose

- si están implicadas formas juveniles o adultas
- los efectos del petróleo sobre la biota competidora
- historia previa de exposición del organismo al petróleo o a otros contaminantes
- si está implicada una zona costera, estuarina u océano abierto, y específicamente si es un sitio de anidación o invernación para aves marinas, o una ruta de migración de peces, mamíferos o aves, etc.
- tensiones ambientales naturales impuestas por -- condiciones o fluctuaciones meteorológicas en la temperatura del agua, la salinidad y otros parámetros oceanográficos, particularmente corrientes y acción de las olas
- procedimientos de limpieza, si existen, que hayan sido usados y particularmente si se han empleado agentes químicos
- y todas las demás tensiones de ambos orígenes, natural y contaminador, a los que haya estado sujeto el organismo (GESAMP, 1977).

En general, el daño biológico será más severo si el derrame ocurre en un ambiente costero o estuarino, especialmente si es afectada la zona de intermareas, que si ocurre en el océano abierto, debido a que allí hay generalmente muchos más tipos y números de organismos así como los estados juveniles más sensibles de muchas especies oceánicas.

Las respuestas biológicas que pueden acompañar a la presencia de petróleo en el mar son:

- efectos letales
- efectos subletales

- toma del petróleo o de ciertas fracciones del mismo por el organismo, provocando manchado o en algunos casos carcinogénesis
- posiblemente la iniciación de una secuencia en donde el contaminante es transferido a otros miembros de la red trófica, dejándolos inapropiados para el consumo por otros animales, incluyendo al hombre.
- asfixia y sofocación directas o interferencia con los movimientos para obtener alimento o escapar de sus depredadores naturales
- alteración del habitat químico y físico, lo que resulta en cambios en las poblaciones de especies individuales así como en corrimientos en composición y diversidad de especies (GESAMP, 1977).

más aún, los efectos pueden ser agudos, por ejemplo, las respuestas a una única y repentina inyección de petróleo, o crónicos si la exposición recurre con suficiente frecuencia en largos períodos de tiempo de tal forma que la biota no tiene tiempo de recuperarse entre las dosis.

Para hacer todavía más difícil la determinación de los efectos biológicos atribuidos a un derrame de petróleo, muchos organismos marinos muestran marcadas variaciones estacionales en la abundancia y sensibilidad a la tensión ambiental. Además diferentes organismos reaccionan a la contaminación por petróleo de manera diferente, lo que mata a una especie puede tener un pequeño efecto o ninguno sobre otra. Los individuos de una especie, de acuerdo a su clase de edad ( huevos, larvas, recién nacidos o adultos), tienen diferente sensibilidad al mismo nivel de --

contaminación, por ejemplo, los estados prelarvales del percebo (*Balanus*) son cien veces más sensibles que los adultos, no obstante, los huevos y la freza del salmón rosa son diez veces más tolerantes que los juveniles. En la ostra *Crassostrea angulata* y en el mejillón -- *Mytilus galloprovincialis*, Renzoni encontró en 1973 que los huevos y las larvas muestran un alto grado de tolerancia pero se afecta marcadamente la capacidad de fertilización del esperma (GESAMP, 1977).

Con tan compleja situación es muy difícil predecir el impacto que cualquier derrame de petróleo pueda tener sobre la vida marina, no obstante, del tratamiento general que hemos dado anteriormente se desprende que, toda presencia de petróleo en el océano que rebasa el umbral del contenido natural evolutivo del mismo, tiene un impacto biológico en mayor o menor grado sobre la biota oceánica.

#### Efectos del petróleo sobre los organismos marinos:

Aves. - los pájaros marinos son tal vez el único grupo de organismos relacionados con el océano que han sido afectados por la contaminación petrolera a tal extremo que pone en peligro poblaciones locales enteras, las que en algunos casos constituyen el total de la población mundial (GESAMP, 1977). El alca atlántica está en peligro de extinción parcialmente debido a los derrames de petróleo; una colonia en la costa de New Foundland fue virtualmente eliminada debido a la contaminación por petróleo en la -- región, entre 1965 y 1966 (Ingmanson y Wallace, 1979).

La mortalidad total anual debido a contaminación crónica por petróleo en el Mar del Norte y en el Atlántico norte se estima entre 150 a 450 mil aves, notablemente las



alcas y los patos marinos zambullidores han sufrido severa mortandad; estas especies son particularmente susceptibles a la contaminación por petróleo, ya que pasan casi toda la vida en el mar, obtienen su alimento mediante zambullidas, parecen ser atraídas a zonas de derrames y en la mayor parte de los casos tienen una tasa reproductiva muy baja; más aún, estas aves son altamente gregarias particularmente en sus áreas de internación y reproducción, y debido a ello lo que parece ser un pequeño derrame puede provocar un gran número de muertes, por ejemplo, un derrame menor cerca de una zona reproductiva en las Islas Shetland en 1971, provocó la muerte de 10 mil aves incluyendo 5 mil ejemplares del arao común (Uria aalge) que representaban el 10% de la población de estas colonias. Pérdidas más severas ocurrieron en un área de internación estuarina en los Países Bajos en el mismo año, en donde murieron 5 mil aves incluyendo el 100% de la población de patos silvestres que internaban (Anas platyrhynchos); -- 75% del ganso (Anser anser) ; 80% del cisne (Cygnus bewickii y 100% de la fulica (Fulica atra).

Un derrame de origen desconocido provocó la muerte inmediata de 5 mil aves en diciembre de 1972 en la costa de Jutland en Dinamarca y seguramente la de otras 25 mil -- aves que fueron recubiertas por el petróleo pero se encontraban aún con vida al hacerse la investigación (GESAMP, 1977). No hay que olvidar, dicen Ingmanson y Wallace (1979) que toda ave que sea cubierta con petróleo, morirá; entre las aves muertas se encontraron el 30% de la población -- internante del pato Sansateria mollissima. Una más drástica reducción poblacional de esta especie ocurrió en 1952 en Chatham, Mass., cuando chocaron dos tanqueros, Fort -- Mercer y el Pendleton, provocando una reducción de 500 a -- 150 mil aves (GESAMP, 1977).

Entre 1973 y 1981 se encontraron muertas 46 mil aves cubiertas de petróleo alrededor de las costas de Bretaña, 35 mil de ellas producto de 88 accidentes separados entre sí. En enero de 1979 se escaparon 400 TM de petróleo -- combustible de un tanquero embarrancado en Kattegat, Dinamarca, lo que provocó la muerte de 35,085 aves (Holdgate, et al., 1982).

Una de las explicaciones más aparentes que se han dado en torno a la muerte de aves cubiertas de petróleo, se fundamenta en el hecho de que las aves no pueden discernir entre una superficie limpia y otra cubierta de petróleo, ello es un producto comportamental evolutivo, ya que las gruesas capas de petróleo sobre el mar son un factor de reciente introducción por parte del hombre; el resultado de ello es que el petróleo penetra en el plumaje, eliminando las grasas que aislan térmicamente a las aves a la vez que les permiten flotar sobre el agua, de tal manera que los pájaros mueren de frío o ahogados, además, el petróleo que les pega las plumas les impide volar (Ingmanson y Wallace, 1979). Empero, deben citarse también efectos tóxicos producidos en aves que se limpian el plumaje debido a la ingesta del hidrocarburo durante la operación, al respecto se ha observado cierto número de condiciones patológicas:

- degeneración grasa del hígado
- nefrosis tóxica
- alargamiento del bazo
- hiperplasia adrenocortical
- atrofia acinar del páncreas
- neumonía grasa

Además se ha sugerido que la ingesta de petróleo crudo, - perturba los mecanismos de absorción intestinal impidiendo la absorción de agua e iones, contribuyendo a la elevada mortalidad. Ya que los riñones por sí mismos, son incapaces de mantener la homeostasis bajo todas las condiciones ambientales, los patos y las gaviotas sobreviven merced a la activación de un mecanismo excretor extrarrenal que complementa la limitada capacidad excretora del riñón; este mecanismo consiste de glándulas nasales apareadas -- que se activan por una elevación en la osmolaridad que sigue a la ingestión de agua hipertónica, las glándulas secretan un fluido que contiene sodio, potasio y cloro a concentraciones mayores de las del agua de mar, permitiendo al pájaro obtener agua osmóticamente libre, excretar los electrolitos ingeridos en los alimentos y el agua de beber, manteniendo de esta forma un balance positivo de agua. Este mecanismo excretorio extrarrenal es esencial para todas las especies pelágicas y para muchas costeras; más aún Croocker, Cranshaw y Holmes ( 1974 ) \* encontraron que el petróleo crudo interfiere con la tasa de absorción de la mucosa intestinal, lo que es vital para el funcionamiento del mecanismo excretor extrarrenal, con ello el ave entra en un estado negativo de balance hídrico, se deshidrata y finalmente muere.

Mamíferos. - al igual que el plumaje de las aves, la piel de los mamíferos pierde fácilmente su impermeabilidad y propiedades de aislamiento. cuando entra en contacto con el petróleo, y los animales sufren de la exposición al ambiente y restricción en su movilidad de tal forma que son incapaces de cazar para proporcionarse alimento y son más susceptibles de ser depredados.

---

\* todas las citas en la presente sección del trabajo, salvo indicación en contrario, son de: GESAMP, 1977.

Aunque estos efectos están razonablemente bien documentados para una cierta variedad de mamíferos terrestres, se dispone de poca información en lo que se refiere a los mamíferos marinos, empero, se ha registrado el daño sufrido por 400 focas peludas afectadas por un derrame de diesel ligero en la costa occidental de Alaska en 1970, y hay indicios de daños a las nutrias marinas; después del derrame provocado por el tanquero Arrow, en 1970, se observaron solamente 500 focas grises (Halichoerus grypus), 13 de ellas muertas, en la Bahía Chedobucto donde usualmente se concentran por miles. Sobre la Isla Sable se observaron un grupo de 50 ó 60 focas moteadas (Phoca vitulina) y 100 focas grises, 11 de ellas muertas; la mayoría estaban cubiertas de petróleo, algunas en exceso. El petróleo afectó los ojos, oídos, nariz, boca y garganta, taponándolos por completo en muchos organismos causándoles considerable dolor y sufrimiento; la causa de la muerte se atribuyó a la asfixia por petróleo más que a efectos tóxicos, no obstante no haberse realizado ninguna autopsia.

Durante el accidente con una plataforma de perforación en Santa Bárbara, en California, se encontraron muertos gran cantidad de crías del león marino (Zalophus californianus) después de que densas manchas de petróleo rodearon a las colonias en reproducción de la Isla San Miguel; este incidente ocurrió por cierto durante la migración estacional de la ballena gris y aunque se reportó que a las ballenas les costó trabajo evitar el petróleo se encontraron muertas 5 de ellas y muchas marsopas aunque algunos autores como Straughan y Le Boef consideraron que no había pruebas suficientes de que el petróleo les hubiera causado la muerte.

Peces. - el petróleo puede tener una amplia variedad de efectos sobre los peces, los más obvios son los efectos letales producidos por concentraciones suficientemente elevadas que detienen o perturban el funcionamiento de las branquias, o bien, la ingestión de grandes cantidades de sustancias tóxicas. En general parece que concentraciones suficientemente elevadas para provocar efectos letales en los peces sólo se encuentran en la vecindad de grandes derrames o cuando un derrame aunque no sea muy voluminoso se presenta en un área muy restringida; menos obvios, pero tal vez más significativos, son los efectos a concentraciones subletales que pueden provocar cambios en la alimentación, reproducción o migración de la especie o bien la pérdida del equilibrio de los individuos.

En su mayoría, las grandes cantidades de petróleo asociadas con derrames importantes, tienden a permanecer flotando durante algún tiempo sobre la superficie del agua. Consecuentemente, los peces pelágicos adultos están expuestos solamente a aquellos componentes del petróleo que se disuelven en el agua marina o que se dispersan a través de la columna de agua como gotitas ya sea debido al uso de dispersantes o a través de la acción de las olas. Este proceso es muy significativo ambientalmente, ya que el petróleo se vuelve disponible para los organismos subsuperficiales en forma tal que es rápidamente ingerido, por ejemplo, por el zooplancton incorporándose a las cadenas alimentarias (GESAMP, 1977).

A pesar de la posibilidad de que durante accidentes graves en el mar, entren a la columna de agua grandes cantidades de petróleo, no hay reportes en la literatura que asocien al derrame una gran mortandad de peces pelágicos.

A diferencia de los pájaros y mamíferos, la superficie externa de la mayoría de los peces está recubierta - de una capa viscosa a la que no se adhiere fácilmente el petróleo, aunque los dispersantes usados durante las operaciones de "limpieza" tienden a destruirla.

En contraste con los aparentemente menores efectos del petróleo crudo y los aceites pesados sobre los peces pelágicos, el derrame de petróleos ligeramente refinados parece que presenta efectos considerablemente más nocivos, -- por ejemplo, el derrame de 26 millones de litros de gasolina de aviación de alto octano, combustible para turborreactores, y aceite diesel del tanquero R.C. Stoner en las Islas Wake mató 2.5 TM de peces arrecifales; mientras que un petróleo intermedio que contenía gran cantidad de compuestos aromáticos, se identificó como la causa de una extensa mortandad de arenques en Nova Escotia en 1969 (GESAMP, -- 1977).

Ya que los huevos y larvas de muchas variedades de peces pelágicos - de las cuales algunas son importantes comercialmente - flotan sobre la superficie o habitan las capas superiores del mar, están particularmente expuestas a los efectos de la contaminación con petróleo y sufren alta mortandad.

Debido a que después de diversos accidentes de tanqueros fueron utilizados dispersantes químicos, algunos de ellos - muy tóxicos para la vida o bien que refuerzan la toxicidad del crudo o de sus productos derramados, no se tienen suficientes datos de campo al respecto, y para subsanar la falta de información in vivo en el mar se ha realizado una gran cantidad de estudios de laboratorio con diferentes especies de peces y productos del petróleo, encontrándose como norma general niveles de toxicidad con variaciones de acuerdo a -

la cantidad, calidad y tiempo de exposición al producto, y de acuerdo a la especie y edad de los organismos. Künoshold, en 1972, llevó a cabo experimentos sobre los efectos de extractos de petróleo venezolano, iraní y libio, con huevos de bacalao y con larvas de arenque, bacalao y platija. Los huevos de bacalao fueron los más sensibles durante las primeras horas después de la fertilización y a las diez horas la mortalidad era ya significativa. En algunos casos, se retrasó la eclosión de los -- huevecillos o no ocurrió, además, la mayoría de las larvas tenían cuerpos deformes o movimientos corporales anormales, y murieron durante el primer día.

Mironov, en 1972, encontró que los huevos de peces eran altamente sensibles al petróleo y sus derivados y que generalmente morían al segundo día de exposición a concentraciones de  $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  ml/l, y a concentraciones de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  sólo eclosionaron entre el 55 y el 89% de los huevos. Las larvas eran anormales y morían pronto; en un experimento anterior de Mironov, en 1968, usando huevos fertilizados de platija se encontró que eran altamente sensibles a los productos del petróleo en el agua. Halló que de 0.1 a 0.01 ppm causaban daño al 40-100% de las prelarvas eclosionadas y que 0.001 ml de petróleo por litro era tóxico para los huevecillos de la anchoa, pez escorpión y pez loro.

Swedmark, Granmo y Kollberg, en 1973, demostraron que las emulsiones de diesel y petróleo crudo, tenían efectos más pronunciados sobre el bacalao y sobre el lenguado que los aceites combustibles pesados. En general el bacalao era más susceptible que el lenguado, pero ambas especies mostraron actividad creciente seguida de una actividad reducida o exigua, pérdida del equilibrio y finalmente inmovilización al exponer a ambos a concentraciones subletales.

Tagatz, en 1961, provó la toxicidad de la gasolina, el aceite diesel y el aceite bunker en individuos juveniles del sábalo americano (Alosa sapidissima), un pez anadromo común, y encontró que el valor promedio de tolerancia - límite se incrementaba en el orden señalado.

Organismos bentónicos y de intermareas.- con mucho la mayor cantidad de información sobre los efectos de la contaminación por petróleo sobre los organismos marinos, proviene de los organismos bénticos y de intermareas, es decir, de aquellos organismos que pasan la mayor parte de su vida en el fondo del mar. En este grupo se incluye un gran número de especies de moluscos, crustáceos, equinodermos, poliquetos, celenterados e hidroides; estas criaturas son muy susceptibles a la contaminación por petróleo, debido a que muchas de ellas habitan la zona de intermareas en donde se recubren con el combustible y pueden asfixiarse si el petróleo denso llega hasta la costa. Muchos de ellos son organismos filtradores que extraen en forma indiscriminada partículas finas, de cierto intervalo de tamaños, del agua y por lo tanto, ingieren petróleo presente como gotitas o adsorbido sobre otras partículas materiales.

Ya que la zona de intermareas es la región más accesible del mundo marino, y ya que las consecuencias de la contaminación son más fácilmente observadas, es aquí en donde se han realizado amplios estudios de los efectos del petróleo sobre los invertebrados de intermareas.

Moluscos.- siempre que hay un derrame importante en la costa, los moluscos sufren con frecuencia gran mortandad, por ejemplo, un derrame en la costa de California mató



enormes cantidades de almejas (Tivella stultorum) y -- tróquidos (Haliotis spp) así como prácticamente todos -- los otros animales que habitaban la ensenada en el momen-- to del derrame, según North, Neushul y Clendenning en -- 1964. En otros derrames se ha demostrado que las ostras (Crassostrea virginica) toman hidrocarburos del petróleo en sus depósitos grasos y retienen la mayoría, particular-- mente los compuestos cíclicos más tóxicos.

Clark y Finley, en 1973, usando modernos procedimientos analíticos, demostraron que los hidrocarburos derivados -- del petróleo son fácilmente ingeridos por el mejillón azul común (Mytilus edulis). Kanter, Stranghan y Jeseo, (1971), han mostrado que los efectos del petróleo sobre el mejillón Mytilus californica depende de la localidad de la cual se -- colectó, encontrando la mayor tolerancia a la contaminación en aquellos individuos colectados en áreas de filtraciones naturales y que habían tenido una historia de exposición -- crónica al petróleo.

Gilfillan en 1973 encontró que concentraciones tan ba-- jas como una ppm de extractos de petróleo crudo en agua de mar, reducen ambos, la alimentación y asimilación de carbono, por el mejillón azul y por los mejillones de pantanos -- (M. demissus), mientras se incrementaba la respiración; el efecto neto consiste de una reducción significativa del ba-- lance neto del carbono para ambas especies; Gilfillan su-- girió también que las bajas reservas energéticas de los -- mejillones pueden imposibilitar el desarrollo de gametos, incidiendo directamente sobre su adecuación.

El petróleo crudo, sus derivados y las emulsiones dis-- persantes que se utilizan en los derrames, son dañinos pa-- ra las larvas de algunos moluscos bivalvos marinos, tal y

como se demostró en los experimentos de Renzoni, en 1973, sobre los gametos, huevos en desarrollo y larvas de las ostras Crassostrea angulata y C. gigas y del mejillón -- Mytilus galloprovincialis; reportó que mientras que no se encontró toxicidad por parte de los hidrocarburos hacia los huevos, embriones o larvas a las concentraciones de 1 a mil partes por millón, sí había una disminución definida en fertilización en el agua contaminada y la actividad natatoria de las larvas era impedida. Swedermark, Granmo y Kollberg, en 1973, demostraron que los moluscos bivalvos - (Pecten opercularis) y los coquinos (Cardium edule) - eran considerablemente menos tolerantes a la contaminación por petróleo que el mejillón.

A concentraciones subletales de daño, se dificulta la habilidad de los bivalvos para cerrar sus conchas sobre todo con petróleo diesel, las especies más resistentes se -- encontraron entre los mejillones. En 1972 Griffith encontró que el caracol marino (Littorina littorea) era más sensible al crudo ligero árabe que el mejillón, lo que no es de extrañar dado que hemos señalado las diferentes composiciones y contenidos de azufre y compuestos aromáticos en diferentes crudos del mundo; debido a ello no se pueden generalizar, ni extrapolar, resultados obtenidos con un crudo particular.

Crustáceos. - los crustáceos móviles: langostas, cangrejos, etc., habitan generalmente la zona sublitoral y por lo tanto no están sujetos al contacto directo con el petróleo como los crustáceos y moluscos sésiles de la zona de intermareas. Además, su movilidad les da la ventaja de ser capaces de evitar la contaminación fuerte, e inversamente, la desventaja de ser atraídos a ella. Durante el incidente del -

Tampico Maru las langostas (Panulirus interruptus) y los cangrejos (Pachygrapsus crassipes) sufrieron gran mortandad. Y en fechas más recientes, durante el derrame del pozo Ixtoc I en el Golfo de México, se reportó un fuerte impacto sobre las poblaciones de cangrejos, por ejemplo, el cangrejo fantasma (Ocypode quadrata) y -- otras poblaciones de diferentes especies, fueron casi -- totalmente eliminadas, y una gran área y las poblaciones de cangrejos en arrecifes coralinos de la zona fueron reducidas a sólo un pequeño porcentaje del valor normal durante nueve meses después del derrame (Jernelöv y -- Linden, 1981).

Como hemos señalado para otras formas juveniles, las larvas de langosta son más susceptibles a la contaminación por petróleo que los adultos. En 1972 Wells indicó que las emulsiones de petróleo crudo son letales para las larvas a concentraciones de 100 ppm, y al parecer, tienen efectos subletales a concentraciones por abajo de 1 ppm. El umbral de concentración letal va de 2 a 30 ppm. Las larvas de langosta son particularmente sensibles inmediatamente después de pelear. Atema y Stein, en 1972, reportaron que cantidades subletales (0.9 ml/l) de petróleo crudo, deprimen el apetito y la excitabilidad química de las langostas adultas (Homarus americanus) e incrementan el periodo de retraso entre distinguir la comida e ir tras ella.

A diferencia de las langostas, Mironov en 1972, reporta que el cangrejo Pachygrapsus marmoratus es una especie muy resistente y habita aguas altamente contaminadas del Mar Negro. De acuerdo con Mazmanidi, Diazamidze y -- Zambachidze, en 1973, el petróleo a concentraciones de --

35 mg/l disminuye el contenido de glicógeno en los músculos y las hepatopancreasas de ostras hembras en un día. Las larvas del camarón café son susceptibles a concentraciones considerablemente menores que aquéllas que afectan a los adultos de la especie, según Portmann informó en 1971. Swedmark et al., 1973, encontraron que las emulsiones de petróleo crudo y de diesel eran tóxicas para los langostinos (Leander adpersus) a concentraciones de 70 a 170 ppm, mientras que a menores concentraciones se reducía notablemente su capacidad natatoria.

Los efectos de un petróleo crudo y de dos productos refinados sobre el anfípodo Gammarus oceanicus fueron estudiados por Linden en 1976, encontró que las larvas de 5 días eran miles de veces más sensibles a los petróleos que los adultos durante la exposición aguda. Durante ensayos a largo plazo aparecieron ciertos efectos subletales; los adultos mostraron dificultades en su capacidad natatoria, disminución en su tendencia a precopular, a su reacción a la luz y a la producción de larvas; en otro estudio sobre los efectos del petróleo sobre G. oceanicus el mismo Linden encontró que, a niveles subletales de petróleo crudo, disminuye significativamente el número de huevos eclosionados si las hembras fueron expuestas al petróleo durante el período de incubación. También se encontró que en presencia de bajas concentraciones de petróleo en el agua, disminuye la frecuencia con que machos y hembras participan del estado precopulativo que es necesario para que la fertilización tenga buen éxito.

Los crustáceos sésiles, particularmente aquéllos que habitan la zona de intermareas, frecuentemente sufren extensas mortandades en presencia de un derrame, por ejemplo,

se estima que 4.2 millones de animales de intermareas, predominantemente percebes bellota, resultaron muertos por un derrame de cerca de 3.2 millones de litros de petróleo Bunker C en San Francisco, en 1971 (GESAMP, 1977).

Equinodermos y otros organismos bentónicos. - se considera que los equinodermos son extremadamente sensibles a cualquier reducción en la calidad del agua, por ejemplo, los erizos de mar (Strongylocentrotus franciscanus y S. purpuratus) fueron virtualmente eliminados cuando el accidente del Tampico Maru, y reaparecieron hasta dos años después, las poblaciones tardaron 4 años en recuperarse; el efecto inmediato fue que al remover a estos herbívoros, el alga gigante Macrocystis pyrifera proliferó. Estudios realizados con extractos solubles en agua de un cierto número de petróleos crudos y combustibles, diesel y gasolinas para aviones jet, probaron tener un efecto pequeño -- sobre la fertilización de los huevos del erizo (S. purpuratus) pero la mayoría de los extractos fueron tóxicos para los huevos en desarrollo.

En 1971, en Puget Sound, murió una amplia variedad de invertebrados bentónicos por un derrame de diesel, con mortalidades que variaron entre 30 y 100% para 48 especies de invertebrados de intermareas; los que resistieron el mayor daño fueron: estrellas serpiente (Ophiocoma imbricatus), poliquetos, nemertinos, quitones, cangrejos ermitaños (Pagurus samuelis) y lapas.

Hubo una destrucción masiva de un amplio intervalo de peces, crustáceos e invertebrados durante un derrame de combustible en West Falmouth. De acuerdo con Ketchum, en 1973, aproximadamente el 95% de los animales colectados en la vecindad del derrame estaban muertos o moribundos. No obstante, una vez eliminadas las especies competidoras, el poliqueto Capitella capitata floreció - hasta constituir enormes poblaciones.

Johannes reportó en 1972 que no había evidencia de daño a los arrecifes coralinos por el petróleo que flotaba sobre ellos, sin embargo fueron seriamente dañados cuando entraron en contacto directo con el petróleo. Recientemente Patricia Eliss-Guest ha señalado el daño a los arrecifes coralinos del este de Africa por los vertidos constantes de petróleo en ésta, la mayor ruta petrolera del mundo ( Bliss-Guest, 1983);

Los derrames de petróleo en el mar matan o afectan adversamente al zooplancton, incluyendo especies totalmente planctónicas como los copépodos, así como huevos y larvas planctónicas de peces e invertebrados bentónicos. Los copépodos, - hemos dicho ya, son un componente importante de las cadenas tróficas marinas debido a sus números, y se ha mostrado experimentalmente que sus poblaciones pueden ser reducidas por el petróleo a concentraciones que se encuentran en la vecindad inmediata de plataformas costeras. Deben evaluarse con cuidado los efectos a largo plazo de esta situación en el mar. Los huevecillos y larvas que se presentan cerca de la superficie están particularmente expuestos y son sensibles - especialmente a los petróleos ligeros ( GESAMP, 1982b).

Zooplancton.- las larvas de crustáceos bentónicos han muerto en concentraciones de petróleo de 0.1 a 0.01 ml/l. Las larvas de peces en desarrollo son muy sensibles al petróleo, en concentraciones del orden de 0.00001 ml/l aumenta el número de larvas anormales. Los nauplios de los copépodos Acartia clausi y Oithona nana mueren después de tres a cuatro días - de inmersión en agua de mar que contenga 10 µg/l de petróleo ( Mironov, 1972). Mientras que los adultos de éstos y de -- otros tres copépodos sufren de una muerte acelerada después de mayores exposiciones a 10 µg/l o después de 5 a 60 minutos en 1.0 ml/l. Acartia muere durante las primeras 24 horas

en agua marina conteniendo petróleo en concentraciones de - - 100 µg/l, según Nelson y Smith en 1968. Las larvas de Balanus spp. y de Pachygrapsus marmoratus son afectadas a concentraciones de 0.1 a 0.01 ml/l de productos del petróleo; el crustáceo Diogenes pugilatum muere a concentraciones de 0.01ml/l; el copépodo A. clausi, Calanus spp. y las larvas de crustáceos decápodos y moluscos gasterópodos murieron al exponerse en el Mar Negro en aguas que contenían desechos de refinería -- (Mironov, 1972) .

Por debajo de una espesa capa de petróleo se reduce la penetración de la luz en más del 90%, reduciendo drásticamente la tasa de fotosíntesis en el fitoplancton e interfiriendo -- también con la migración vertical diaria del zooplancton que es regulada por la intensidad de la luz. Muchos de los grandes zooplanctontes localizan su alimento por selección visual, de tal forma que el sombreado ejercido por el petróleo en la superficie puede ejercer un efecto indirecto sobre la nutrición y el comportamiento, además de sus efectos químicos o mecánicos directos, según estudios realizados por Nelson y -- Smith en 1968.

Fitoplancton. - de acuerdo con Wade (1980) uno de los elementos claves del medio ambiente marino que no han recibido la debida consideración con respecto a los efectos del petróleo -- es precisamente el fitoplancton, del que no existe suficiente información al respecto. Wade se pregunta ¿ cómo se afecta la productividad en un derrame y en qué medida se perturban -- los primeros eslabones de la cadena trófica cuando los organismos ingieren, absorben o adsorben petróleo ? (Wade, 1980).

Una respuesta parcial ha sido dada ya por Gerásimovet al., ellos han encontrado que la exposición prolongada al petróleo y a algunas otras sustancias conducen a una declinación en la

productividad primaria y a un corrimiento en la composición del fitoplancton, con reducción en la población de diatomeas y una creciente frecuencia en la de flagelados y algas verde azules ( Holdgate et al., 1982) .

Nelson y Smith llevaron a efecto en 1972 una revisión de la información disponible sobre efectos del petróleo en el fitoplancton. La impresión general es que, aunque las comunidades planctónicas naturales son afectadas adversamente por el petróleo, estos organismos son lo suficientemente prolíficos para sobreponerse a derrames individuales. Sin embargo, ya que el fitoplancton es en gran medida responsable de la fijación de la energía utilizada por los ecosistemas marinos, es vital saber cómo lo afecta el petróleo en la columna de agua, tanto durante los derrames ocasionales como en las condiciones de aporte continuo en estuarios, lagunas costeras, y otros ambientes de costa y oceánicos. Desgraciadamente es muy difícil detectar los efectos del petróleo sobre la abundancia y composición de las especies de fitoplancton en el mar, ya que estos organismos muestran variaciones estacionales con alternancia de especies dominantes, ya sean diatomeas o dinoflagelados, como consecuencia de cambios en la temperatura, la luz o la disponibilidad de nutrientes.

No obstante se han podido determinar efectos letales o bien ausencia o retardo en la división celular de las siguientes especies: Glenodinium foliaceum, Chaetoceros curvicaetus - Gymnodinium wulffii, G. kowolovskii, Ditylum brightwellii, -- Prorocentrum micans, Peridinium trochoideum, Licmophora --- chrenbergii, Platymonas viridis, Coscinodiscus granii y --- Melosira moniliformis con concentraciones de petróleo que van de  $1 \times 10^{-5}$  a 1.0 ml/l, excepto para Melosira cuyo intervalo es mayor: de 0.1 a 10 ml/l ( GESAMP, 1977).



Estos resultados demuestran la alta sensibilidad de la mayoría de algas microscópicas de diferentes lugares a la contaminación marina por petróleo crudo. Se han realizado diversos estudios para observar la sensibilidad de las diferentes especies de fitoplancton no sólo al petróleo crudo sino también a otros petróleos. En 1973, Nuzzi realizó estudios de laboratorio para mostrar los efectos de diferentes combustibles, incluyendo el usado en motores de lanchas fuera de borda, sobre poblaciones naturales de fitoplancton en Long Island, Nueva York, y también sobre cultivos axénicos de Phaeodactylum tricornutum, Skeletonema costatum, Chlorella spp y Chlamydomonas spp. Los resultados mostraron todo un intervalo de respuestas desde poco o mucho daño hasta favorecer el crecimiento de algunas especies naturales, en general volvemos al "problema" que surge de tratar con una amplia diversidad tanto de organismos como de productos. Sería menester sujetar a todas las especies, por lo menos a todas las más relevantes en las cadenas tróficas, a todos y cada uno de los diferentes productos petroleros en diferentes concentraciones y condiciones ambientales para determinar el daño particular infringido a cada especie. En tanto se pudiese realizar ello a escala internacional, podemos tomar como buena la indicación de que en general, y mientras no se demuestre lo contrario, el petróleo o petróleos crudos y sus derivados de refinación son tóxicos en mayor o menor medida para el fitoplancton del mar.

Recordemos por otra parte que el problema fundamental se deriva de la reacción sinérgica entre petróleo y pesticidas organoclorados, ya que éstos se disuelven y acumulan en el petróleo que flota sobre la superficie haciéndose más tóxicos y accesibles para el fitoplancton, y si como hemos --

señalado en otro trabajo el DDT y otros hidrocarburos organoclorados inhiben la productividad del fitoplancton (Bolaños, 1976), entonces el impacto biológico sobre sus poblaciones, y en general sobre todas aquellas que dependen de estos fijadores de energía para su alimentación, será brutal para el gran ecosistema oceánico y en particular para aquellas zonas que comparten ambos, elevada productividad y grandes aportes continentales atmosféricos de clorocarbonos.

Algas macroscópicas. - las malezas marinas, como la mayoría de las plantas, pueden sufrir daños en un área considerable y aún retener su capacidad de recuperación. Muchas de las grandes algas que habitan sobre costas expuestas producen normalmente nuevos crecimientos cerca de la base durante la estación de crecimiento y pierden las partes distales cada invierno. Por lo tanto, los efectos deletéreos en un derrame de petróleo no son usualmente tan severos entre las malezas de intermarea como entre los animales. Las grandes algas pardas de las zonas templadas están recubiertas por una secreción protectora mucilaginosa que no es penetrada por el petróleo fácilmente. Durante el incidente del Tampico Maru se reportaron daños severos al alga gigante Macrocystis pyrifera; se determinó que concentraciones de 0.1 % de emulsión de diesel casi inhibieron completamente la actividad fotosintética de los tallos jóvenes mientras que se produjo daño irreversible por exposición a la suspensión de petróleo durante un período de 6 a 12 horas. En el accidente del Arrow un alga de intermarea Fucus spiralis fue eliminada de la costa rocosa y no hubo subsecuente recolonización. Mientras que durante el gran derrame del Torrey Canyon un alga de media marea Fucus vesiculosus no resultó severamente dañada debido probablemente a la capa mucilaginosa, a que hemos hecho referencia, que las cubría.

El petróleo emulsionado parece que se adhiere más fácilmente a Porphyra umbilicalis que a otras algas rojas. Estas algas parecen ser las más sensibles y sufrieron las mayores pérdidas durante ambos desastres, Torrey Canyon y Tampico - Maru. Se ha observado que las algas rojas retienen el petróleo crudo durante cierto tiempo.

Durante el derrame en Santa Barbara California las algas verdes Enteromorpha intestinalis, Chaetomorpha aerea y Ulva angusta de las zonas media alta y alta de intermareas fueron sólo ligeramente dañadas (GESAMP, 1977).

En general, podemos decir que se han observado en las algas marinas modificaciones morfológicas patológicas bajo los efectos del petróleo; las formas juveniles han sufrido las modificaciones más considerables. Se ha observado también que cuando las macro-algas se recubren con petróleo pueden ser removidas mecánicamente de su sustrato con mayor facilidad. Algunas son resistentes al petróleo y se desarrollan en ambientes contaminados (GESAMP, 1982b). Algunas formas inferiores, particularmente las algas verdeazules, parecen ser resistentes a la contaminación por petróleo e incluso -- pueden obtener nutrientes del hidrocarburo. Diversos autores como Spooner (1970), Baker (1971), y Cabiosch (1971) han observado parches de algas verdeazules alrededor de las tuberías de salidas de desechos en refinerías que estaban por otra parte libres de cualquier otra vegetación. Oscillatoria, una típica alga verdeazul, crece abundantemente en los filtros usados para remover petróleo de los efluentes de refinerías.

Pastos marinos. - se ha observado que el petróleo penetra en las formas superiores de vida vegetal en el mar y zonas costeras bloqueando los espacios intercelulares e incrementando la respiración. Algunos pastos marinos y plantas de marismas

saladas ( o pantanos ) pueden ser tolerantes a derrames pequeños incluso si son frecuentes, pero un problema mayor -- conduce con frecuencia a la mortandad aunque estos efectos pueden aparecer años después (GESAMP, 1982b).

Para determinar experimentalmente los efectos de la contaminación crónica por petróleo se han asperjado con petróleo crudo de Kuwait zonas de Spartina angelica, Puccinella maritima y Juncus maritimus a intervalos de un mes; se obtuvo recuperación a cuatro aspersiones pero después de esto se produjo una rápida declinación en las poblaciones según Baker (1971,1972,1973). Las especies varían considerablemente en su tolerancia a derrames sucesivos, desde las anuales muy susceptibles: Suaeda maritima y Salicornia y plántulas de todas las especies, hasta los pastos y arroseadas perennes y la muy tolerante umbelífera Oenanthe lachenalii. Baker mismo ha reportado la destrucción del pasto Spartina angelica en un área pantanosa, como resultado de las descargas continuas de aguas de desecho de una refinera. La muerte de las plantas se atribuyó a que se recubren con finas películas de petróleo durante las mareas de primavera y éstas evitan la recolonización.

Los estudios de fisiología vegetal sugieren que el petróleo penetra en las plantas, viaja a través de los espacios intercelulares y posiblemente también en el sistema vascular. Las membranas celulares son dañadas por penetración de las moléculas de hidrocarburos lo que conduce al escape del contenido celular. Los aceites reducen las tasas de transpiración, probablemente por bloqueo de los estomas y de los espacios intercelulares, y esto puede explicar la reducción que se observa en la fotosíntesis. Ocurren con frecuencia incrementos en la tasa de respiración. La severidad de estos efectos depende de los constituyentes y de la cantidad de --

petróleo, de las condiciones ambientales y de la especie particular de planta de que se trate.

A pesar de los daños aparentes causados a diversas especies como Spartina alterniflora o Phyllospadix torreyi - en los accidentes del Arrow y de Santa Barbara, también se ha reportado un cierto número de accidentes en los que el petróleo ha estimulado el crecimiento, y aunque no se conoce a ciencia cierta la razón de esto, pudiera tener que ver con los microorganismos hidrocarbonoclasticos y los capaces de efectuar la fijación de nitrógeno, o con los nutrientes proporcionados por los animales muertos por el petróleo. No se ha descontado la posibilidad de que el petróleo crudo pudiera contener compuestos reguladores del crecimiento (GESAMP, 1977).

Además de los efectos tóxicos en los organismos, a concentraciones letales y subletales, el petróleo y otros contaminantes pueden tener efectos sutiles sobre la vida marina, a concentraciones que no son lo suficientemente elevadas para causar efectos negativos obvios sobre el ambiente, interfiriendo con las señales químicas que controlan muchos procesos biológicos importantes:

- la detección de alimento
- los impulsos alimentarios
- el escape a la depredación
- la definición de territorio
- la orientación de las especies migratorias

y otros procesos biológicos que son cruciales para la sobrevivencia de las especies y están regulados por sustancias en el agua a concentraciones muy bajas. Señales químicas naturales como las feromonas que disparan estas respuestas, pueden ser enmascaradas o imitadas por la presencia de bajas

concentraciones de contaminantes; Blumer en 1972 sugirió - que las fracciones aromáticas del petróleo crudo y el intervalo total de hidrocarburos olefínicos en los productos refinados pueden interferir con el comportamiento mediado químicamente.

Metales. - entre los metales que entran al océano mundial se encuentran dos grupos, los metales pesados, algunos de los cuales no son metales "pesados" y otros que ni siquiera metales son ( arsénico, selenio) y los metales traza; en conjunto incluyen: mercurio, cadmio, cobre, zinc, cobalto, manganeso, molibdeno, níquel, plomo, fierro, arsénico, aluminio, cromo, estaño, titanio, vanadio, plata, bismuto, berilio, selenio y telurio (GESAMP, 1982b).

Los llamados metales pesados se definen arbitrariamente como aquellos metales cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua; entre los que tiene más probabilidades de causar problemas figuran: cobre, cadmio, mercurio, zinc, estaño, arsénico, plomo, vanadio, cromo, molibdeno, manganeso, cobalto y níquel ( SCEP, 1970; FAO, 1971 - y PNUMA, 1980b).

Muchos metales pesados son indispensables para la vida, aunque sólo se encuentran en cantidades muy pequeñas en los tejidos del cuerpo, incluso, algunos organismos tienen una alta afinidad por elementos particulares: el zinc se concentra a muy altos niveles en las ostras y el vanadio alcanza una alta concentración en la sangre de los tunicados. El mecanismo causa de esta bioacumulación no está aún comprendido, pero existe poca evidencia de daños directos serios y aparentes a los organismos que contienen altas concentraciones de elementos (UNEP, 1976).

Sin embargo, los metales pesados pueden ser tóxicos; - un metal puede considerarse tóxico si resulta perjudicial para el crecimiento o el metabolismo de las células al exceder de cierta concentración. Casi todos los metales son tóxicos en concentraciones altas y algunos de ellos constituyen venenos graves incluso a muy bajas concentraciones. El cobre, por ejemplo, es un micronutriente, un componente necesario de todos los organismos, pero si se absorbe en cantidades superiores al nivel adecuado resulta altamente tóxico. Como el cobre, todos los metales tienen niveles óptimos de concentración, por encima de los cuales resultan tóxicos. La toxicidad de un metal depende de su vía de administración y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células. En cambio, la combinación de un metal con azufre, que forma un sulfuro, da lugar a un compuesto menos tóxico que el hidróxido u óxido correspondientes, debido a que el sulfuro es menos soluble en los humores corporales que el óxido. La toxicidad puede resultar:

- a) cuando el organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un período prolongado
- b) cuando el metal se presenta en una forma bioquímica inusitada o poco usual
- c) cuando el organismo lo absorbe por una vía inusual

(PNUMA, 1980b).

El orden de toxicidad de los metales o metaloides más comunes para los organismos marinos, de acuerdo a la mejor información disponible con respecto a los estadios de vida más sensibles, sigue el patrón:

mercurio ( $\text{Hg}^{2+}$ ) > plata ( $\text{Ag}^+$ ) > cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) > zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ) >  
 níquel ( $\text{Ni}^{2+}$ ) > plomo ( $\text{Pb}^{2+}$ ) > cadmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ) > arsénico  
 ( $\text{As}^{3+}$ ) > cromo ( $\text{Cr}^{3+}$ ) > estaño ( $\text{Sn}^{2+}$ ) > fierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) >  
 manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ) > aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) > berilio ( $\text{Be}^{2+}$ ) >  
 litio ( $\text{Li}^+$ )

No obstante, debido a la bioacumulación, por ejemplo de cadmio, el orden de peligro total de los metales antes señalados en el medio ambiente marino puede cambiar sustancialmente (UNEP, 1976). La mayoría de los metales pesados se acumulan biológicamente en los cuerpos de los organismos, permanecen ahí por largo tiempo y funcionan como venenos acumulativos (SCEP, 1970).

Los metales entran al océano mundial como resultado de procesos naturales y actividades humanas, vía los ríos, escurrimientos continentales, vertimientos, la atmósfera y el lecho marino. Las principales fuentes naturales son: el intemperismo de las rocas, gasificación, liberación por volcanes terrestres y submarinos y disolución de los sedimentos marinos. Las fuentes antropogénicas abarcan diversas actividades humanas, desde la producción de alimentos (uso de fungicidas mercuriales), industrias diversas, transporte (liberación de tetraetilo de plomo) y otras (incluyendo militares).

Las entradas más importantes para la mayoría de los metales son los ríos y escurrimientos continentales pero para algunos pocos elementos, como mercurio y plomo, la ruta atmosférica es importante particularmente en el océano abierto, aunque por supuesto las descargas estuarinas dominarán en las costas (GESAMP, 1982b). Se ha reportado también en ciertas áreas un flujo neto de metales del mar hacia la atmósfera.



Incluso los metales pesados pueden ser movilizados a la atmósfera por actividad biológica, se sabe que muchos metales son metilados por microorganismos volviéndolos más volátiles, con posible evaporación a la atmósfera. Se conocen formas metiladas de mercurio y azufre, y se sugieren también de arsénico y selenio, producidas por organismos marinos. - Diversos investigadores citados en GESAMP, (1982b) como Duceat al., 1976, y Piotrowicz et al., 1978, han demostrado que muchos metales son concentrados en los milímetros superiores del océano: fierro, zinc, cadmio y cobre.

Las principales fuentes antropogénicas de metales atmosféricos incluyen:

- combustión de combustibles fósiles
- emisiones de plantas de cemento
- operaciones de minería y refinación de metales
- otras fuentes industriales
- excavación para construcción de edificios
- operaciones de lavado de grava
- construcción de carreteras
- procesos manufactureros diversos

hay también ciertas fuentes antropogénicas individuales que contribuyen con metales particulares e incluyen:

- plomo, de la combustión de gasolinas
- arsénico y otros metales y metaloides de las fundiciones
- cadmio, de incineradores
- vanadio, de la combustión de aceites residuales

en general los procesos de combustión a altas temperaturas liberan muchos de estos metales a la atmósfera, y en este caso, los metales se asocian con materia particulada submicroscópica.

Es imposible estimar, con precisión, el flujo de metales de la atmósfera al océano mundial debido a la carencia de concentración de datos provenientes de muchas áreas, --

particularmente del hemisferio sur; lo que sí se ha podido detectar son tasas aparentemente elevadas de aporte de los siguientes metales: zinc, cadmio, antimonio, plomo, mercurio y selenio (GESAMP, 1980c).

Una vez introducidos en el mar, algunos metales no permanecen en la columna de agua, pueden concentrarse en la película superficial o ser adsorbidos a materia suspendida y sedimentarse en el fondo, y aunque los sedimentos son pozos o depósitos de los metales, pueden volver a entrar a la columna de agua por diversos procesos físicos, químicos y biológicos. En esta forma, los sedimentos sirven como un amortiguador y pueden mantener la concentración de metales, en el agua y en la biota, por encima de los niveles naturales tiempo después de realizarse el aporte antropogénico.

Es difícil detectar, en trabajos de campo, los efectos de los metales sobre los organismos marinos debido a que estos contaminantes son raramente descargados en forma aislada, por ello cualquier deterioro de la biota cerca de un sitio de descarga no puede atribuirse solamente al ingreso excesivo de metales. Se requiere obtener más datos sobre los efectos de concentraciones sustanciales en conjunto con otros desechos y correlacionar los efectos con residuos en la comunidad.

De estas descargas conjuntas y comunes de desechos surge un grave problema para los organismos marinos, el sinergismo o reforzamiento de la acción de una sustancia por otra; un ejemplo es la interacción entre el ácido nitrilotriacético usado en los detergentes sintéticos como sustituto de los fosfatos contaminantes y metales como mercurio o cadmio cuya acción nociva es sinergizada por el ácido.

En experimentos de laboratorio llevados a cabo con animales se observó que el ácido nitrilotriacético, en presencia de mercurio o cadmio, incrementaba diez veces la ocurrencia de anomalías fetales; esta interacción es típica de la tendencia de los metales a formar complejos con ciertos tipos de compuestos orgánicos, que pueden diferir agudamente en sus propiedades químicas y biológicas de cualquiera de los constituyentes por separado ( Commoner, 1974).

Otros aspectos a considerar cuando se valoren los efectos de los metales sobre los organismos marinos, dependen de la forma en que se presente el metal, de la edad del organismo, etc., por ejemplo, el cobre iónico es más tóxico que el cobre como complejo en los detergentes, pero el mercurio orgánico, es más tóxico que el inorgánico. Para muchos metales traza los estados juveniles de los organismos marinos son más sensibles, en uno o dos órdenes de magnitud, que los adultos, y con frecuencia, el fitoplancton y los invertebrados se ven más afectados que los peces. Algunos metales alcanzarán mayores niveles de concentración corporal cuando se incorporen a través de las cadenas alimentarias, que a través del agua que envuelve al organismo. La presencia de un metal puede reducir la toxicidad de otro ( efecto antagonista), como se ha observado en ocasiones con el selenio y el mercurio. Los resultados de laboratorio nos indican que los efectos subletales se pueden presentar sobre la morfología, fisiología o comportamiento de organismos marinos, a concentraciones no mucho mayores que aquellas que existen en áreas contaminadas del mar; experimentos recientes de campo confirman que concentraciones relativamente bajas, algunas veces dentro de un orden de magnitud del nivel natural, pueden tener efectos subletales sobre los organismos y ser deletéreos para su sobrevivencia ( GESAMP, 1982b).

Estudios realizados por Colin Walker (1971) en Inglaterra, han mostrado que pequeñas concentraciones de cobre, plomo, zinc y níquel causan mortandad en los peces: espirosillo (Gasterosteus aculeatus) y trucha arcoiris (Salmo gairdneri), en tiempos que varían para el primero de 156 a 204 horas y en la trucha de 20 a 100 horas de exposición (Walker, 1971). Estudios más amplios realizados por Jackim et al., en 1970, Portman, en 1972, y Mc Kee y Wolf, en 1973, todos ellos compilados por Waldishuk en 1974 y citados en UNEP, 1976, encontraron la concentración letal media para: aluminio, arsénico, berilio y cadmio en peces; además para cromo, cobre, fierro, plomo, mercurio, níquel, plata y zinc en peces y camarones café. Los peces investigados fueron: anguilas (Anquilla sp.); freza de salmón (Osmerus mordax); el ciprinodóntido (Fundulus heteroclitus); el agónido (Agonus cataphactus); el salmón coho (Oncorhynchus kisutch); el pez plano (Pleuronectes flesus); el pez perro; espirosillo; el pez dorado (Carassius auratus) y la trucha arcoiris. También se probó la ostra Crassostrea virginica, por Calabrese et al., en 1973, en todos ellos se presentó la muerte a concentraciones de 0.27 (aluminio) a 188 (plomo) ppm. (UNEP, 1976).

Algunos metales han sido estudiados con mayor amplitud debido a su impacto ambiental no sólo para la biota oceánica sino también para organismos terrestres. Destacaremos algunas de sus características pero sólo en base al daño marino que ocasionan:

Cadmio.- este metal de símbolo Cd, tomó su nombre del vocablo griego cádmea (tierra), calamina; es un elemento del subgrupo IIB: zinc, cadmio, mercurio; de la serie de transición en la Tabla Periódica de los Elementos; número atómico 48 y peso atómico 112.40.

El cadmio fue aislado e identificado por primera vez - por F. Strohmeyer, en 1817, a partir del mineral de zinc - smithsonita ( carbonato de zinc, GESAMP, 1985b). Se encuentra también en los minerales de plomo y cobre, aunque los de zinc constituyen la fuente principal para la industria del cadmio; el metal se fracciona durante los procesos de fundición o electrólisis utilizados para refinar el zinc, por consiguiente, se pueden introducir en el medio ambiente cantidades considerables de cadmio durante las operaciones de refinación del zinc, y en menor medida durante la fundición del plomo y del cobre; por lo tanto desde que aprendió a fundir y refinar estos metales hace miles de años, el hombre - ha estado liberando cadmio inadvertidamente en el medio ambiente (PNUMA, 1980b).

El pronunciado incremento de su utilización, durante los últimos 35 años, ha causado un aumento correspondiente de la contaminación ambiental y de los problemas causados por la exposición al cadmio en diferentes grados.

En el mar, el 66% del cadmio se presenta en forma natural metálica  $Cd^{2+}$  junto con carbonato de cadmio, 26%; hidróxido de cadmio, 5%; cloruro de cadmio y sulfato de cadmio - 1%. En aguas costeras y estuarinas una alta proporción del cadmio está asociada con partículas y se presenta formando complejos [ uniones metálicas en agua, que pueden combinarse con un donante de electrones ( base Lewis) para formar un complejo o compuesto de coordinación ] así, el ion cadmio se combina con un ligando, un ion cianuro por ejemplo, para formar el ion complejo  $Cd(CN)^+$ ; se pueden añadir ligandos cianuro adicionales para formar los complejos progresivamente más débiles y por lo tanto más fáciles de disociar: --  $Cd(CN)_2$ ,  $Cd(CN)_3^-$  y  $Cd(CN)_4^{-2}$  ( Manahan, 1984; GESAMP, 1985b).

El cadmio en el agua marina proviene de suelos agrícolas contaminados, desechos de minería, aguas de mina y de uso industrial. Una fuente importante la constituyen las aguas servidas municipales y los lodos de alcantarillado, incluyen de los desechos de origen doméstico. En la atmósfera, el cadmio proviene de los humos de las fundiciones de cobre, plomo, níquel y zinc, de la combustión de coque en industrias y de la incineración de la basura doméstica (GESAMP, 1985b).

La mayor parte de las descargas de cadmio al ambiente, y cerca del 90% de las emisiones de cadmio atmosféricas, son consideradas como antropogénicas; no hay duda de que los niveles crecientes en la ecosfera son producidos por el hombre. Sólo en la Comunidad Económica Europea se descargan al ambiente 5 mil TM anuales y, mientras se estimó que en los setenta las fuentes naturales liberaron a la atmósfera 1,000 TM, el hombre liberó 8,200 por año (Rohleder y Korte, 1982).

En 1979, la producción mundial se elevó a 18,900 TM (GESAMP, 1985b), ello se debe al creciente número de usos del metal: principalmente se utiliza en el laqueado de otros metales, en la fabricación de pigmentos, en baterías y estabilizantes para plásticos, así como en la fabricación de varas absorbentes de neutrones para reactores nucleares y en semiconductores, también se usa como catalizador (RIPQPT, 1985b); otros usos incluyen coloración de plásticos, esmaltes, vidrios y cristales (Rohleder y Korte, 1982); sus compuestos se usan en la producción de compuestos químicos, materiales fotográficos, fósforo para cinescopios de televisión, pinturas, hule, jabones y fuegos de artificio (Jensen y Bateman, 1981).

El cadmio se acumula fácilmente en los organismos marinos; existen diversas estimaciones de su bioacumulación en la flora y faunamarinas. Para muchas especies que comprenden la mayor

parte de los Phyla, los factores de acumulación son del orden de miles, para algunos moluscos y artrópodos de decenas de miles, y para ciertos tejidos en diversos organismos, de cientos de miles (GESAMP, 1985b). Los organismos marinos están expuestos al cadmio en el agua, los sedimentos y en su dieta.

El fitoplancton puede acumular concentraciones significativas de cadmio, aunque debido a la rápida tasa de descomposición éste es liberado nuevamente al agua, el metal se une difusamente a la superficie celular y este proceso parece ser importante en el ciclaje biogeoquímico del cadmio en el ecosistema marino.

Los estudios de laboratorio dan los siguientes resultados: se inhibe la tasa de crecimiento en el dinoflagelado - Prorocentrum micans a concentraciones mayores de 1.2 µg/l, a concentraciones mayores de 10 µg/l, se incrementan la vacuolización y el número de lisosomas; en 1960 se registró una reducción importante en la tasa de crecimiento de --- Isochrysis galbana expuesta a 1 µg/l durante diez días; en 1982, Kayser encontró que 10 µg/l reducen temporalmente la tasa de crecimiento de Scrippsiella faeroense; otros estudios indicaron que, en general, se requieren concentraciones mayores de 100 µg/l para producir efectos sobre un amplio intervalo de especies de algas (GESAMP, 1985b).

Otros estudios de laboratorio mostraron que en presencia de 3 µg de cadmio/l, hay un encogimiento irreversible de 50% en los hidrantes de Laomedea loveni. Otros hidrozooarios parecen ser más resistentes al cadmio; en otro ensayo se afectaron adversamente el crecimiento y sobrevivencia del ctenóforo Pleurobrachia pileus a concentraciones de 1 µg de cadmio/l.

Un grupo muy resistente al cadmio parecen constituirlo los anélidos ya que, de acuerdo con los experimentos realizados en 1981 por Kuiper, no se detectaron efectos apreciables a concentraciones menores de 100  $\mu\text{g}$  de cadmio/l. Contrariamente a ello, los crustáceos resultan afectados de diferentes maneras, en concentraciones de 10  $\mu\text{g}$  de cadmio/l, no se afectó el desarrollo embrionario del cangrejo Eurypassopeus depressus al estado de megalopa, pero se retardó el desarrollo subsecuente y se notó un incremento en las tasas de mortalidad. En otro ensayo se observaron mayores tasas de natación fototáctica en los estados II y III del mismo cangrejo; se ha observado también que las poblaciones de copépodos sufren reducciones al ser expuestas a 50  $\mu\text{g}$  de cadmio/l.

El mívrido estuarino (Mysidopsis bahia) parece ser muy sensible al cadmio, con reducciones en el número de jóvenes producidos por cada hembra a concentraciones de 6.4  $\mu\text{g}/\text{l}$ , al aumentar la concentración a 10  $\mu\text{g}/\text{l}$  aparecen malformaciones del carapacho y también se afecta la producción de hijos. Estudios con la langosta americana mostraron intensificación en la actividad del malato-deshidrogenasa con exposiciones de 6  $\mu\text{g}$  de cadmio /l durante 30 días. A 3  $\mu\text{g}$  de concentración, se incrementaron las tasas de respiración aunque no se encontraron efectos de osmorregulación. En 1980, Price y Ogilow trabajando con el camarón café encontraron un incremento en la tasa de escafognatite durante una exposición de trece días a 5  $\mu\text{g}$  de cadmio/l, se dice que esto es ya un valor cercano al nivel letal incipiente (GESAMP, 1985b).

Aunque los moluscos parecen ser resistentes a la intoxicación por cadmio, se ha encontrado un ligero retraso del desarrollo de las larvas de Crassostrea virginica a concentraciones de 5  $\mu\text{g}/\text{l}$ , asimismo, se encontró reducción en la tasa de creci-



miento de C. margarita a 10  $\mu\text{g}/\text{l}$ , el mismo efecto se observó en C. cucullata y C. gigas, pero a concentraciones mayores Stromgren, en 1982, encontró que se reduce también la tasa de crecimiento del mejillón Mytilus edulis expuesto por nueve días a 10  $\mu\text{g}/\text{l}$  (GESAMP, 1985b).

Otro grupo resistente al cadmio son los equinodermos; no se han registrado efectos dañinos en concentraciones de hasta 100  $\mu\text{g}/\text{l}$ , incluyendo genotoxicidad. Lo mismo sucede con los tunicados; experimentos realizados con Botryllus schlosseri lo demuestran y sólo se han encontrado efectos subletales después de prolongadas exposiciones a concentraciones mayores de 5  $\text{mg}/\text{cadmio}/\text{l}$ .

En cambio los peces se ven afectados de diversas formas, los huevecillos del arenque del Báltico incuban antes de lo debido a concentraciones de 5  $\mu\text{g}$  de cadmio/l y las larvas son 10% más pequeñas. Se ha encontrado hiperactividad en la platija y en el lenguado a diferentes concentraciones de cadmio, 500  $\mu\text{g}/\text{l}$  para el último; a menores concentraciones no se observó tal comportamiento, no obstante, a concentraciones de 50  $\mu\text{g}/\text{l}$  la platija presentó una mortalidad de 90% en 96 días de exposición de acuerdo con los estudios de Larsson et al., en 1981, mientras que un año antes -- Werternhagen et al., habían determinado una mortalidad de 30% a la misma concentración para el lenguado Limanda limanda; la mortandad se atribuyó a infección secundaria en erosiones de la aleta, esto había sido estudiado también en -- 1976 por Weis y Weis quienes determinaron que a 10  $\mu\text{g}$  de cadmio/litro se inhibía temporalmente la regeneración de la aleta caudal del pez Fundulus heteroclitus (GESAMP, 1985b). Otros estudios han mostrado cambios en el hematocrito sanguíneo, tasa de consumo de oxígeno, producción de enzimas y contenido de calcio y potasio en el plasma sanguíneo, todo ello en lenguados y en

el robalo rayado (Morone saxatilis); aún no está claro si estos cambios deban considerarse dañinos. Como en otros contaminantes, el mayor efecto tal vez se observa en los seres humanos, generalmente a través de la ingesta de organismo contaminados.

Plomo.- El plomo, del latín plumbum, Pb, es probablemente uno de los primeros metales descubiertos y trabajados por el hombre; es el elemento más pesado del grupo IVb de la Tabla Periódica, su número atómico es 82 y su peso atómico 207.19 (dependiendo de su origen). En el agua de mar se encuentra como cloruro de plomo, 43%; carbonato de plomo, 42% e hidróxido de plomo, 9%. En condiciones apropiadas se pueden formar compuestos alquil-plomo, aunque estos organometales no son muy estables, en condiciones anaeróbicas, en los sedimentos, pueden formarse varios sulfuros de plomo.

La producción mundial anual se calcula en 3.6 millones de TM, ello aunado al plomo reciclado suma los 4.1 millones de TM que se usan de manera más o menos constante en el mundo. Sus usos principales comprenden: fabricación de baterías, pigmentos y productos químicos (por ejemplo tetraetilo de plomo), aleaciones, recubrimiento de cables, tubería y láminas; otros usos se derivan de su elevada resistencia a la corrosión en períodos prolongados, además, existen muchas aplicaciones para sus compuestos inorgánicos, con frecuencia altamente tóxicos, desde el acetato hasta el zirconato de plomo, algunos de ellos se usan como biocidas.

En algunos países debido a medidas de salud pública ya no se usan los pigmentos de plomo en pinturas para interiores. Entre los compuestos orgánicos el que causa la mayor preocupación es el tetraetilo de plomo que se usa desde los años -

treinta para elevar el octanaje de la gasolina, junto con otros aditivos alquil-plomados.

Más de la mitad de la producción mundial de plomo se consume en los Estados Unidos principalmente en forma de estos aditivos, como consecuencia, una décima parte de todo el plomo producido en el mundo termina en forma de contaminante emitido por los escapes de los automóviles norteamericanos (Main, 1972). El mundo consume en forma global un 20% de la producción total en forma de aditivo para los combustibles (Jensen y Bateman, 1981).

La combustión de estos aditivos es la causa de la mayor parte de las emisiones de plomo inorgánico, en 1973 se calculó su producción en 380 mil TM, de las cuales más del 70% se incorporó al medio ambiente inmediatamente después de la combustión y el resto quedó atrapado en el aceite del cárter y en el sistema de escape de los vehículos, además parte del plomo retenido en el aceite lubricante se incorpora al medio ambiente por diferentes vías.

El grado de contaminación por combustión de alquilatos de plomo difiere de un país a otro según la densidad automovilística (PNUMA, 1980b). Empero, debido a que, como hemos señalado ya, los contaminantes no reconocen fronteras, la mayor parte del plomo emitido por fuentes estacionarias o móviles es transportado por el aire; en su mayor parte el plomo se precipita en las mismas zonas urbano-industriales en donde se libera, pero aproximadamente un 20% permanece suspendido en el aire y se dispersa (PNUMA, 1980b). En 1978, Nriagu -- estimó que las emisiones atmosféricas globales de fuentes humanas fueron de 438 mil TM/año, en contraste con 18,550 TM -- provenientes de las fuentes naturales.

Las principales descargas a la atmósfera además de las señaladas comprenden: producción de acero y otros metales, 23%; minería y fundición del plomo, 8% y otros, 8% (GESAMP, 1985b). La concentración de plomo en los ríos varía de menos de 10 µg/gr en regiones árticas a más de 850 µg/gr en estuarios de ríos contaminados como el Rhin. El vertido al mar de lodos de alcantarilla puede crear zonas de concentración local, se han citado intervalos extremos desde 50/85 - hasta 3,000/10,000 µg/gr.

El transporte aéreo del plomo es importante, en 1975 -- Cambray et al. estimaron que el depósito total de plomo en el Mar del Norte era de 8,100 TM/año. Para las bahías costeras del Mediterráneo europeo se han sugerido también altos ingresos. Midiendo isótopos de plomo radiactivo, --- Schaule y Patterson estimaron en 1980 que un 50% del flujo del plomo atmosférico que cae al mar se deriva de los compuestos alquil-plomados. El flujo global a los océanos del hemisferio norte se calcula en 210,000 TM a través de la lluvia y 170,000 TM por descarga de los ríos, un total anual de 380,000 TM de plomo (GESAMP, 1985b).

Se sabe que el plomo puede ser ingerido en cualquiera de sus dos formas: compuestos organo-plúmbicos o plomo inorgánico a partir del agua ambiental, de los sedimentos o de la dieta, empero, no se han hecho estudios definitivos del contenido de plomo ya sea en el agua marina o en los organismos. Se pensaba que el plomo precipitado por la lluvia en el mar, se depositaba mezclándose vigorosamente a través de la columna de agua, datos recientes muestran que ello no es así, el plomo tiende a concentrarse en el agua superficial por mayores períodos de tiempo de los que se pensaba (Ingmanson y Wallace, 1979).

Las aguas del Mediterráneo suelen contener hasta 7.2 µg/l y los sedimentos de 9 a 300 µg/gr de plomo, mientras que las concentraciones en el océano oscilan entre 1.5 µg/gr en los peces y 480 µg/gr de peso seco en los mejillones; éstos al igual que otros organismos acuáticos que se alimentan por filtración acumulan el plomo y otros metales en sus tejidos ( PNUMA, 1980b). En 1976 Bryan encontró un gramo de plomo por kilogramo de peso seco en los tejidos de Nereis diversicolor, en sedimentos que contenían 8 gr de plomo/ kg de peso seco; en 1981 se observó acumulación en N. virens y también en Macoma balthica y en Crangon septemspinosa.

Aunque la mayor parte de los datos publicados indican-- que para producir efectos crónicos o agudos en algas, se requieren concentraciones mayores de 100 µg de plomo/l existen algunas informaciones sobre datos de daño a menores niveles: Chaetoceros sp se ve afectada por 60 µg/l, hay reducción ligera del crecimiento en Thalassiosira aestivalis a 100 µg/l, se encontró reducción de la fotosíntesis, aunque no de la respiración en Phaeodactylum tricorutum con 100µg de plomo/l; en 1979 Ritkin encontró 50% de reducción en la cantidad de clorofila y células de Skeletonema costatum -- con concentraciones de 4.4 a 7.8 µg/l, y al año siguiente -- Canterford y Canterford encontraron que sólo se requieren de 1.0 a 1.3 µg de plomo libre /l para reducir en 50% el crecimiento de Dytilum brightwellii ( GESAMP, 1985b). Se ha observado también una ligera reducción en la tasa de crecimiento del protozoario Cristigera sp. a concentraciones de 300µg/l.

Los anélidos parecen ser resistentes a la intoxicación por plomo, de acuerdo con los resultados de estudios realizados con: poliquetos ( Neanthes arenacoedentata) juveniles y adultos, larvas trocóforas de Capitella capitata, Ctenodrilus serratus, Ophryotrocha diadema y O. labronica.

Los crustáceos parecen ser también resistentes al plomo, en cambio, los moluscos sobre todo en sus estados juveniles son más sensibles al plomo y a otros contaminantes; se han observado problemas en el desarrollo de embriones en: Crassostrea virginica, C. gigas, Mytilus edulis, M. galloprovincialis y Mercenaria mercenaria a diferentes concentraciones de plomo. Las concentraciones letales, tanto para moluscos juveniles -- como adultos, van más allá de 1 mg/l (GESAMP, 1985b). Se han reportado retardos en el desarrollo embrionario de equinodermos como Anthocidaris crassispina y Arbacia punctulata. En peces se han llevado a efecto pocos experimentos, no obstante el nivel de hemoglobina y eritrocitos en el mújol -- Mugil auratus disminuyen al incrementarse el nivel sanguíneo de plomo.

Un dato importante respecto a los compuestos alquil-plomo es que tanto el tetrametilo como el tetraetilo de plomo reducen -- hasta en un 50% la actividad fotosintética de Phaeodactylum tricornutum y Dunaliella tertiolect (GESAMP, 1985b).

Mercurio.- del latín hydrargirium, agua plateada, símbolo - Hg, se encuentra junto con el cadmio y el zinc en el grupo IIB de la Tabla Periódica, número atómico 80 y peso atómico 200.59. La principal fuente de mercurio es la desgasificación natural de la corteza terrestre, que despiden entre 25 y 125 mil TM -- anuales. Algunas actividades humanas ( extracción y fundición de minerales de mercurio, procesos industriales en que se utiliza mercurio por ejemplo quema de combustibles fósiles, fundición -- de minerales sulfurados, etc.) producen emisiones sustanciales de mercurio en el medio ambiente.

En 1975 se calculó que la emisión total antropogénica de -- mercurio era del orden de 20 mil TM anuales (PNUMA, 1980b). La producción mundial en 1984 fue: 174,500 frascos de 34.5 kg c/u, un total de 6,020 TM (Cleveland, 1986) aunque Manahan (1984) -- reporta un producción de 11.500 TM.

Históricamente se le han atribuido al mercurio tres tipos de usos: médico, agrícola e industrial. En medicina se le usó desde el año 1500 como agente terapéutico contra la sífilis, y posteriormente como catártico y diurético, e incluso -- hoy en día lo emplea la farmacia homeopática y los dentistas en la preparación de amalgamas, y como antibacteriano en el mercurocromo. Desde 1914 se han empleado algunos de sus compuestos en la agricultura para fabricar fungicidas usados en granos, plantas y árboles frutales, ésta es por cierto una vía de ingreso para el hombre a través de la cadena alimentaria.

Empero el mayor y más importante uso del mercurio (25%) es en la fabricación de los electrodos que preparan hidróxido de sodio y cloro gaseoso de alta pureza requeridos por la industria petrolera, de vidrio, papel y detergentes; también se utiliza en fotografía, catalizadores para la fabricación de cloruro de polivinilo, en equipo eléctrico (20%), pinturas (15%), sistemas de medición y control (10%), manufactura textil de la seda artificial y otros. Con él se fabrican lámparas de vapor incandescentes, instrumental médico y tubos de rayos X (Henahan, 1973; Legaspi, 1985b).

Esta diversidad de usos ha permitido y favorecido la emisión antropogénica en gran escala a la atmósfera, tierra y -- océanos; la fracción principal del mercurio total en la atmósfera (más del 90%) se encuentra en forma de mercurio gaseoso volátil, probablemente mercurio elemental metálico, éste tiene un tiempo de permanencia atmosférico de por lo menos unos pocos meses, y quizá hasta uno o dos años, se encuentra distribuido uniformemente en toda la troposfera en concentraciones de 1 a 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (RIPQPT, 1984); y aunque la concentración en el mar se considera generalmente de 0.3  $\mu\text{g}/\text{l}$  (PNUMA, 1980b), en California la contaminación del mar con mercurio y cobre produjo la muerte de los fucos. Se observa una concentración

inadmisible de mercurio en la costa occidental de Islandia, en las costas de Portugal y en las partes oriental y central de la corriente noratlántica. En Japón, la contaminación -- del mar por mercurio ha hecho historia sobre todo en la Bahía de Minamata ( Vóronov et al., 1979).

Las plantas y animales tienden a acumular el mercurio, se ha encontrado por ejemplo que algunas algas marinas contienen una concentración más de 100 veces mayor que la del agua de mar en que viven, y en un estudio con peces se encontró una concentración mayor de 122 ppb ( Goldwater, 1971). Los síntomas deletéreos se presentan en algas, camarones y otros crustáceos y peces por encima de 5  $\mu\text{g}/\text{l}$ , aunque algunos datos parecen indicar que a niveles mucho más bajos se retrasa el crecimiento de las algas y se han encontrado concentraciones de 20  $\mu\text{g}/\text{gr}$  en huevos de aves acuáticas ( PNUMA, 1980b).

Se ha descubierto mercurio en algas, moluscos y peces de las aguas del Océano Indico que bañan el litoral africano, y el pescado capturado en aguas litorales de Suecia, Finlandia y Dinamarca contenía tantos metales tóxicos, incluyendo el mercurio, que fue necesario prohibir su pesca en grandes zonas ( Vóronov et al., 1979). En estudios realizados con fitoplancton de agua dulce se encontró que una ppb puede causar reducciones significativas en la fotosíntesis, y a 50 ppb se detiene esencialmente toda toma de carbón, y por lo tanto, hay una completa inhibición del crecimiento. También se observó que entre los peces, el atún y el pez espada tienden a acumular mercurio en exceso de 0.5 ppm que es límite permitido para consumo humano ( Berry et al., 1974).

Aunque hay cierto nivel de toxicidad por el mercurio para los organismos marinos, la mayor preocupación debe ubicarse en su efecto sobre el fitoplancton; en realidad el problema



se ha centrado hasta ahora en su elevada toxicidad para las personas, esta toxicidad en el hombre tiene como vector algunos organismos marinos, y el problema surge debido a que el hombre es un carnívoro superior de la vida oceánica y -- por lo tanto es de depositario final de la acumulación a -- lo largo de las redes tróficas marinas.

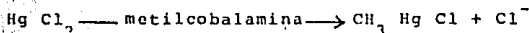
El mercurio líquido no es venenoso, se dice que una persona puede llegar a tragar casi medio kilogramo del metal - sin que se presenten efectos adversos significativos (Goldwater, 1971; Henahan, 1973). No obstante, los compuestos inorgánicos son muy venenosos ( por ejemplo el cloruro de mercurio) y han sido usados para cometer suicidio; los trabajadores de las fábricas de sombreros se han vuelto locos debido al uso de nitrato de mercurio para mejorar las propiedades de la lana. A pesar de ser ampliamente conocidos, estos efectos no transcendían a la opinión pública, ni se consideraba que el mercurio pudiera constituir, a través de la vida acuática, un riesgo para la salud de la población humana, - pero en 1953 en la Bahía de Minamata en Japón en una aldea de pescadores se reportaron algunos sucesos extraños: los gatos corrían maullando hacia el mar y las cornejas caían - del cielo, pronto algunos habitantes empezaron a quejarse - de dolores musculares y visión distorsionada, de repente un padre y su hijo se volvieron locos y murieron, durante los siguientes nueve años otras cien personas a lo largo de la costa de la bahía desarrollaron los mismos síntomas y de ellas 36 perdieron la vida. Algunos sobrevivientes quedaron ciegos y sordos y muchos bebés nacieron con defectos, lo que se conocería como " la enfermedad de Minamata" ( UNEP, 1981). En 1965 la enfermedad atacó la ciudad de Niigata, 50 residentes se enfermaron, 16 murieron y muchos niños resultaron afectados.

En Minamata los médicos empezaron a reconocer que los síntomas eran muy parecidos a aquellos provocados por el envenenamiento con metil mercurio. Las sospechas se confirman cuando se descubrió que una planta productora de cloruro de polivinilo cercana, arrojaba a la bahía grandes cantidades de cloruro mercuríco y todas las víctimas, incluyendo gatos y cornejas, habfan consumido pescado de sus aguas. Pronto se encontró que esta sustancia que normalmente es inocua venía contaminada con metil mercurio tóxico, los sedimentos cerca de la planta contenfan 2 millones de ppb de mercurio mientras que en el agua la concentración iba de 1.6 a 3.6 ppb comparado con los niveles naturales de 0.3 a 2.0 ppb; también se registró que los peces y moluscos normalmente ingeridos por los habitantes de Minamata y Niigata habfan concentrado el mercurio ( predominantemente en forma de metil mercurio) en sus cuerpos a niveles de 5 a 6 ppm, cerca de 100 veces más la 0.05 ppm que la OMS considera como el residuo mínimo irreducible.

El aspecto más apremiante de la contaminación con mercurio es que existe un enorme depósito del metal en el fondo de lagos y ríos esperando a ser convertida por la acción microbiana en el metil-mercurio mortal. Este compuesto es absorbido por el fitoplancton, el que es comido por peces pequeños y éstos por otros mayores hasta llegar a depredadores superiores como el atún, el pez vela y el hombre ( Henahan, 1973).

Las bacterias que llevan a cabo la conversión, son bacterias anaeróbicas sintetizadoras de metano, forman el ion soluble monometil mercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) y el volátil dimetil mercurio [ $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ], éstos entran a la cadena alimentaria y se concentran en los tejidos grasos de los peces; el factor de --

concentración puede ser de miles. El agente metilante mediante el cual el mercurio inorgánico es convertido en metil mercurio es la metilcobalamina, un análogo de la vitamina B<sub>12</sub> (cianocobalamina), la reacción es:



se cree que las bacterias que sintetizan metano producen metilcobalamina como un intermediario en la síntesis, por lo tanto, aguas y sedimentos en los que se presenta la desintegración anaeróbica contienen probablemente todos los ingredientes necesarios para la producción de metil mercurio. En aguas alcalinas o neutras se favorece la formación de metil mercurio volátil que puede escapar a la atmósfera; el mecanismo bioquímico del proceso es como sigue: debido principalmente a su porción orgánica, los mercuriales alquílicos son muy solubles en material orgánico, particularmente en los lípidos de las membranas y en el tejido cerebral, el enlace covalente C-Hg no se rompe fácilmente y el alquilmercurio permanece por largos períodos en las células. La habilidad de los compuestos alquil-mercurio para penetrar la barrera placentaria y entrar a los tejidos fetales es algo de particular preocupación. Debido a su fuerte afinidad por el azufre, el mercurio se une fuertemente a los grupos sulfhidrilos de las proteínas incluyendo a las enzimas, así se une a la hemoglobina y a la albúmina del suero ya que ambos contienen estos grupos.

La unión del mercurio a la membrana celular puede inhibir el transporte activo de azúcares a través de la membrana y causar una creciente permeabilidad de ésta al potasio. La resultante falta de transporte de azúcar a las células cerebrales puede resultar en deficiencias energéticas en las -

mismas, además, la incrementada permeabilidad al potasio, tiene efectos sobre la transmisión de los impulsos nerviosos cerebrales. Estos efectos fisiológicos pueden explicar por qué los bebés que nacen de madres envenenadas con metilmercurio, sufren frecuentemente de daños irreversibles al sistema nervioso central, incluyendo: parálisis cerebral, retardo mental y convulsiones. Estos mismos efectos pueden explicar el entumecimiento, sordera y problemas del habla - característicos de los individuos expuestos al metil-mercurio; otros de sus efectos conocidos son:

- segregación de cromosomas
- rompimiento cromosómico en las células
- inhibición de la división celular, lo que explica los defectos al nacimiento

los efectos menos fuertes del envenenamiento con mercurio, - tales como la depresión y la irritabilidad, tienen un carácter psicopatológico y por ello este tipo de envenenamiento escapa con frecuencia a la detección ( Manahan, 1984).

Radionúcleos.- el problema de la contaminación del medio acuático por materiales radiactivos pertenece a un tipo especial y sumamente complejo; la radiactividad puede plantear serios problemas de contaminación ya que los radionúcleos - (isótopos radiactivos) no sólo pueden producir efectos inmediatos en los organismos vivientes, sino que, lo que es aún más importante, pueden producir mutaciones del material genético con graves consecuencias para las generaciones subsecuentes (FAO, 1971).

Los radionúcleos se producen como producto de la fisión (desintegración) de núcleos pesados de elementos tales como el uranio o el plutonio. También se producen por la reacción

de neutrones con núcleos estables, se forman en grandes cantidades como productos de desecho en la generación nuclear de energía eléctrica. Los radionúcleos difieren de otros núcleos en que emiten radiación ionizante: partículas alfa (núcleos de helio), partículas beta (electrones negativos o positivos (positrones) de alta energía) y rayos gamma -- (radiación electromagnética similar a los rayos X, pero de mayor energía), estos últimos son de especial significado para los organismos debido precisamente a su elevada energía (Manahan, 1984).

Hay tres tipos principales de radiactividad que son introducidos por el hombre en el medio marino:

- combustibles nucleares, tales como el uranio 235 y el plutonio 238, los que pueden ser introducidos desde barcos impulsados por energía atómica, aviones o satélites artificiales
- productos de fisión de detonaciones nucleares y producción de energía eléctrica, tales como: estroncio 90, cesio 137 y bario 140
- productos de activación, como el zinc 65 y el fierro 55, los que resultan del bombardeo neutrónico de componentes de reactores nucleares y armas, y de constituyentes naturales en el medio ambiente ( UNEP, 1976).

El uso creciente de barcos y submarinos, comerciales y militares, impulsados por energía nuclear incrementa la posibilidad de accidentes en el océano en los que pudieran liberarse cantidades intolerables de radiación para la biota marina. Hasta 1980 se habían introducido en los océanos 278 submarinos nucleares, mientras que en los continentes existían, hasta este año, sólo 227 plantas nucleares de energía eléctrica distribuidas en 20 países, es decir, que estamos generando más -

energía nuclear en el fondo del océano que en la superficie de la tierra ( UNEP, 1979b; Gervasi, 1981). Ello aunado al creciente vertido de aguas irradiadas y otros desechos provenientes de las usinas atómicas, de los centros de investigación, hospitales, industrias, etc., es la causa de que el PNUMA haya detectado ya desde 1976, 54 radionúcleos en el -- agua de mar ( UNEP, 1976).

Las naciones se ven cada día más presionadas en la disposición de sus desechos nucleares y mientras tanto no se respetan los acuerdos internacionales que prohíben el vertido a los océanos: en el Canadá los arrojan al Río Ottawa, - en Francia al Canal de la Mancha y al Mediterráneo, en Inglaterra al Mar de Irlanda, en Holanda al Mar del Norte, en Dinamarca al fiordo Roskilde, en Australia a la Bahía de --- Lucas Hate, en Suecia a la Bahía de Tverendell y en el Japón en las aguas ribereñas. Los Estados Unidos arrojan desde hace años los desechos de la producción atómica a los ríos, - o encerrados en contenedores en las zonas de gran profundidad de los océanos Pacífico y Atlántico.

En 1976 la APA del gobierno norteamericano informó acerca de la contaminación del fondo del Océano Pacífico, 56 kilómetros al oeste de San Francisco, y en el Atlántico, 193 kilómetros al este de la frontera entre Maryland y Delaware. A lo largo de treinta años se inhumaron ahí contenedores de cemento que encerraban plutonio y cesio, en las aguas del Atlántico en donde se arrojaron 14,300 contenedores la contaminación radiactiva superó la " esperada" de 3 a 70 veces y en las - del Océano Pacífico adonde se arrojaron 47,300 contenedores, de 2 a 25 veces ( Sálnikov, 1984). Lo grave del caso es que en 1981 se reportó que, en estudios realizados por la misma -

APA en las costas de California, se encontraron contenedores de residuos rotos y concentraciones de radionúcleos en las aguas que los rodeaban y en los sedimentos, mayores que los niveles ambientales esperados ( Branch, 1984). Al parecer las aguas de ambos océanos son mas turbulentas de lo que la APA esperaba; antes del estudio en California se habían descubierto ya tambores de 200 litros de desechos radioactivos que habían sido arrojados por el mar en las costas de Oregon. En el Atlántico norte se reportó de pescadores que habían sacado en sus redes de arrastre contenedores de desechos en una área muy alejada del sitio de vertido indicado por el -- gobierno norteamericano. Otras señales similares han provenido de la captura de cangrejos y atún radiactivos en el -- Pacífico occidental y almejas " calientes" por la radiación en las Islas Marshall ( Ingmanson y Wallace, 1979).

Por si todo ello fuera poco, la Marina de los Estados Unidos anunció en 1982 que durante las tres próximas décadas hundirá en el Océano Pacífico 100 submarinos nucleares " obsoletos". El reactor de cada nave contiene 62 mil curies de radioactividad residual, es decir, que el hundimiento de sólo -- uno de ellos pudiera casi igualar la cantidad total de material radiactivo vertido por los Estados Unidos en el océano mundial ( Branch, 1984). Aunque de los soviéticos no se tiene información precisa, es del conocimiento público los grandes aportes de radiactividad que hicieron a la Biosfera durante 1986 con la explosión de uno de los reactores de su planta - en Chernobyl, y después con el hundimiento accidental de un submarino nuclear, al parecer con todo y proyectiles balísticos y sus cargas nucleares, en el Atlántico norte.

El cálculo de la producción anual de desechos radiactivos para los actuales ochenta oscila alrededor de las 100 mil TM (Ingmanson y Wallace, 1979), de las cuales es probable que una buena proporción llegue al océano tarde o temprano.

Una vez en el agua, los radionúcleos, como los metales pesados, pueden ser concentrados en la microcapa superficial o incluso transferidos nuevamente a la atmósfera a través de la explosión de burbujas y el efecto aspersionador del viento -- (GESAMP, 1985a). Aquella radiación que permanece en el agua es transferida a los organismos marinos, lo que se ha podido establecer con seguridad gracias a los métodos de detección elaborados por el Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina de la Organización Internacional de Energía Atómica en Mónaco. Aquí, utilizando como radiotrazadores: tecnecio 95, neptunio 235, plutonio 237, americio 241, cobre 244 y el -- californio 252, se ha comprobado el paso de los radionúcleos a través de la cadena alimentaria estudiando: fitoplancton, zooplancton, crustáceos y moluscos ( Fukai, 1986).

La radiación ionizante de estos radionúcleos puede afectar a los organismos de dos formas:

- daño directo corporal o somático
- daño genético por irradiación a las células germinales que puede afectar a la progenie ( GESAMP, 1982b).

La radiación daña esencialmente a los organismos porque desencadena reacciones químicas dañinas en los tejidos, por ejemplo, se rompen los enlaces en las macromoléculas que controlan los procesos vitales ( Manahan, 1984).

La exposición potencial de la biota marina y del hombre, depende de un cierto número de factores, ya que la radiotoxicidad de los radionúcleos artificiales varía ampliamente y su significado en un medio ambiente particular depende de:

- la cantidad liberada
- el transporte y distribución del radionúcleo individual después de la liberación



- la reconcentración en el ambiente
- el uso que se haga de este ambiente (GESAMP, 1982b)

el estudio de los efectos ecológicos y de salud provocados por los radionúcleos depende también de diversos factores:

- tipo y energía de la radiación emitida
- vida media de la fuente ( la vida media es el período de tiempo durante el cual se desintegra la mitad de un cierto número de átomos de una clase específica de radionúcleo)
- el grado al cual el elemento en cuestión es absorbido por las especies vivas
- las interacciones químicas del elemento en el ecosistema marino

Los radionúcleos que tienen un período muy corto de vida media pueden ser peligrosos en el momento de su producción, -- pero se desintegran tan rápidamente que no afectan de manera relevante al medio ambiente natural. Los que tienen un -- período de vida media muy largo pueden ser muy persistentes en el medio ambiente, pero debido a su lenta desintegración -- causan poco daño, así pues, en general, los más peligrosos son los radionúcleos con vidas medias intermedias, ya que persisten el tiempo suficiente para entrar a los organismos vivos -- cuando aún retienen su alta actividad. Los más peligrosos son los radionúcleos de los elementos vitales, ya que se incorporan fácilmente al tejido viviente.

Ha habido gran preocupación, desde que se iniciaron las -- pruebas nucleares, sobre el estroncio 90, desecho común de las mismas, ya que este elemento es intercambiable con el calcio en los huesos; la lluvia radiactiva que lo contiene cae en los pastizales, de donde es absorbido por las vacas y transmitido a los niños y adultos a través de la leche, su vida media es de 28 años.

Los elementos transuránicos son de creciente preocupación en el medio oceánico, estos emisores alfa son altamente tóxicos y de larga vida; al incrementarse su producción se incrementa también el riesgo de contaminación ambiental. Entre ellos se incluyen varios isótopos de neptunio, plutonio, americio y curio; isótopos específicos, con su vida media en años entre paréntesis, son: neptunio 237 (2.14 millones), plutonio 236 (2.85), plutonio 238 (87.8), plutonio 239 (24.400), plutonio 240 (6,540), plutonio 241 (15), plutonio 242 (387,000), americio 241 (433), americio 243 (7,370), curio 242 (0.22) y curio 244 (17.9), (Manahan, 1984). La mayoría de éstos se producen en las centrales nucleoelectrificadas, el más mortífero de ellos acaso sea el plutonio. Ya en 1975 se produjeron en todo el mundo alrededor de 350 TM y la producción ha seguido en aumento; es tan tóxico que se ha comprobado (Kendall, 1984) que una millonésima de gramo, causa cáncer en los seres humanos. Se ha calculado que menos de 500 gr que se esparcieran homogéneamente en el planeta causarían, al ser inhalados, cáncer de pulmón a todos los habitantes de la Tierra.

Se produjo gran preocupación e interés entre los científicos, el 21 de abril de 1964, cuando se tuvo que abortar un proyectil norteamericano, que llevaba un satélite con 17 -- kilocuries de plutonio 238 (1 curie es igual a  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo), y después de destruirse en la atmósfera y liberar al radionúcleo se duplicó la cantidad de plutonio en la Biosfera, proporcionada originalmente por las pruebas nucleares atmosféricas. Para medidos de los setenta, el 95% del plutonio 238 se había depositado ya sobre la superficie y los perfiles del suelo mostraron que hay concentraciones cuantificables del elemento en una área que va desde los 70° lat.N hasta los 44° lat.S.

El factor de concentración para el plutonio en invertebrados marinos va de 2, en las escalopas, a 780 en el gusano Nereis que ingiere grandes cantidades de sedimentos al alimentarse, sin embargo, el mejor colector de plutonio en el mar es la maleza Sargassum con un factor de concentración de hasta 18,500; esta maleza se reproduce anualmente desprendiéndose de la planta madre en el océano y siendo arrastrada por las corrientes hacia las costas en donde mueren y se descomponen liberando el plutonio, el que se acumula en concentraciones peligrosas a lo largo de las costas principalmente de las regiones tropicales ( UNEP, 1976; Kendall, 1984).

Otros problemas de radioactividad en el mar se derivan de los ya mencionados estroncio 90 y cesio 137 que se concentran en los tejidos musculares de los peces. El rutenio 106 es acumulado por Porphyra sp, el zinc 65 se concentra en niveles elevados en las ostras, el cerium 144 es absorbido por el fitoplancton y se acumula posteriormente en organismos marinos filtradores ( UNEP, 1976).

Existe un gran cuerpo de información publicado en 1976 por la AIEA sobre los efectos de la radiación ionizante sobre los organismos acuáticos, pero la mayor parte de esa investigación se refiere a los efectos de dosis agudas. En general podemos decir que las dosis letales para varios grupos van de 1-10 KGys\* (100-1000 Krads), para las bacterias, algas y protozoarios, a 0.01-1.0 KGy (1.0-100 Krads) para moluscos, crustáceos y peces. Aunque la evidencia experimental es limitada, al parecer los organismos acuáticos más sensibles son los peces teleosteos, particularmente los huevos en desarrollo y juveniles de algunas especies ( GESAMP, 1982b)

---

\* 1KGy es un kilogray o 1000 grays, que equivalen a 100 kilorads. 1 gray (Gy) es equivalente a 100 rads (Wedekind, 1986) 1 rad (dosis de radiación absorbida) es igual a 100 ergios de energía depositada en cada gramo de material absorbente (Ehrlich et al. 1979).

Descargas Térmicas.- el calor de desecho que es liberado durante el proceso de generación y consumo de energía eléctrica es un contaminante atmosférico y acuático, tanto como los gases y partículas que constantemente introducimos en la - Biósfera ( SCEP, 1970).

Este exceso de energía en el ambiente ha sido denominado, y con razón, contaminación térmica, el término se usa comúnmente para describir la descarga de calor desechado, en la generación térmica de energía eléctrica o de procesos industriales, en los cuerpos naturales de agua ( Ehrlich et al., 1977). Generalmente la descarga es a través de un río que finalmente llega al mar, o en países no-costeros las descargas se hacen en ocasiones en lagos y otros cuerpos de agua cerrados, con la intención de que el calor generado se disipe a la atmósfera.

Los procesos industriales ( siderurgia y refinación de petróleo) generan gran cantidad de calor al ambiente, pero no tanto como lo hacen las llamadas termoeléctricas, y mucho menos que las nucleoelectricas. La preocupación general por el impacto biológico que el incremento de producción de energía pueda tener sobre las zonas costeras del océano, se incrementa conforme nos aproximamos al año 2000 y en todo el mundo se construyen nuevas y potentes plantas generadoras de electricidad y de contaminación térmica. Para darnos idea de los volúmenes de agua y calor liberados consideremos el gasto calculado para los Estados Unidos, quienes consumen casi la tercera parte de toda la energía generada en el planeta. El 1960 los 181 millones de norteamericanos consumían 44 quads ( 1 quad = 1 cuadrillón de BTU's = 30,283 millones de litros de gasolina), en 1979 se consumieron ya 79 quads - y se calcula que para el año 2000 el consumo se elevará a 108 quads ( Weaver, 1981).

Ya en 1968, se utilizaron 170 billones de litros de agua para enfriar los condensadores de vapor de las plantas generadoras de electricidad, y se calcula que para el año 2000 - la producción de 2 millones de megawatts requerirá disponer de 20 mil billones de BTUs de calor de desecho por día; el agua que se requerirá para llevarse tal cantidad de calor será -- aproximadamente igual a una tercera parte del flujo promedio de agua dulce que llevan todos los ríos en los Estados Unidos ( Clark, 1969).

El problema existe en menor escala en un número creciente de naciones, tanto en los países desarrollados de Europa y en el Japón ( el segundo país en el mundo con más reactores nucleares) como en los países en desarrollo, sobre todo en Asia (India, Corea, Filipinas, etc.,) y en América Latina ( Argentina, Brasil y México). Lo grave del asunto para la vida oceánica se desprende del vertido del agua caliente en los estuarios y zonas costeras ( en donde se ubican con mayor frecuencia las plantas nucleares) debido a la elevada productividad de estas regiones. Además de calor, el agua vertida por estas plantas porta: componentes ácidos, partículas suspendidas, productos residuales oxidantes debido al tratamiento biocida, productos de la corrosión metálica, productos químicos anticorrosivos, núcleos radioactivos ( en el caso de las plantas nucleares) y otros (GESAMP, 1984c).

El ingreso del efluente caliente al océano provoca de inmediato un brusco cambio en la temperatura del agua, lo que - trae como consecuencia diversos efectos físicos, químicos y - biológicos, entre ellos:

- elevación de la temperatura del agua
- disminución del contenido de oxígeno disuelto y de -- otros gases

- disminución del oxígeno, que provoca entre otros:
  - elevada tasa metabólica ( en promedio, ésta se duplica con cada 10°C de incremento), con cambios en el apetito, la digestión y el crecimiento en los peces (Clark, 1969).
  - mayor demanda de oxígeno
  - mayor tasa respiratoria
  - reducción en la capacidad de los peces en el agua para eliminar desechos químicos tóxicos; como consecuencia los peces y otros organismos tienden a acumular más intensamente el DDT, el mercurio, etc., ( Sálnikov, 1984)
- un fuerte incremento en la temperatura del agua - puede matar directamente a algunos organismos, - mientras produce cambios bioquímicos en otros, evitando su reproducción o incrementando su susceptibilidad a las sustancias tóxicas ( por ejemplo -- disminuyendo el umbral de efectos letales, etc.,)
- las especies de peces y plantas termófilas proliferan eliminando a los estenotermos e influyendo por lo tanto en la estructura de la comunidad, -- vía la composición específica ( Ehrlich et al., 1977).

El efecto de las descargas " calientes" sobre la vida oceánica depende también de factores geográficos, el más importante de ellos es la latitud ya que como hemos visto ésta de fine de manera importante la temperatura del agua.

En aguas templadas pueden observarse - en general - relativamente pocas alteraciones ambientales cuando la temperatura de las descargas es de unos 10°C superior a la del medio natural, en cambio en zonas tropicales este aumento de la temperatura se acercará a los límites de tolerancia térmica de los organismos de las zonas receptoras o los rebasará.

En estas regiones, la temperatura del agua fluctúa generalmente entre 25 y 32 °C, con temperaturas durante el verano que oscilan normalmente alrededor de los 30°C. Una descarga térmica con un aumento de sólo 5 °C podría ser nociva. En algunos lugares, descargas de incluso 3 a 5 °C han provocado daños, especialmente si se realizan en aguas poco profundas y cerradas (lagunas costeras) o a lo largo del litoral (GESAMP, 1984a).

Antes de abordar los efectos nocivos causados a diversos organismos por el flujo caliente que emiten estos sistemas energéticos es necesario señalar que el daño comprende dos pasos fundamentales y no sólo uno, ello es debido a que las plantas necesitan tomar el agua para el enfriamiento; aquellas instaladas en las costas (como también las establecidas en las márgenes de ríos y lagos continentales) llevan a cabo los siguientes procesos:

- bombeo del agua hacia el interior de la planta
- separación de materia orgánica mayor mediante mallas
- aplicación de biocidas, generalmente cloro o hipoclorito
- uso del flujo en la planta para enfriamiento, lo que añade calor al circulante
- descarga del agua caliente en una zona diferente a la de la toma

En tal forma que el daño a la biota y perturbación ecosistémica se presenta dos veces para los organismos y en dos lugares distintos del ecosistema. Hay que tomar en cuenta que las plantas no arrojan un volumen a temperatura constante, si no que ambos, temperatura y volumen, dependen de las condiciones de operación de las mismas (recarga de combustible, reparaciones, etc.,).

La toma de agua del océano mediante potentes sistemas de bombeo provoca que en ocasiones sean capturados por el flujo de ingreso grandes volúmenes de peces y de macroinvertebrados, con el efecto consecuente sobre las poblaciones locales; con frecuencia estas capturas " involuntarias " comprenden un gran número de peces juveniles prerreproductivos. Los organismos que atraviesan los tamices de separación comprenden: bacterias, fito y zooplancton, huevos y larvas de peces. Durante su ingreso a la planta, estos organismos están sujetos a cambios de presión, abrasión, velocidad y aceleración en la turbulencia, así como a cambios químicos y de temperatura. Se ha observado que el stress físico excede - per se - los niveles letales para los huevos del robalo rayado (Morone saxatilis). Finalmente, viene la acción biocida con cloro ( 0.2 mg/l ) y elevación de la temperatura de 10 a 12°C.

Se han hecho estudios sobre el ingreso de los organismos a través de estas condiciones ecológicas anormales y ecocidas. La experiencia norteamericana es que muchos organismos no sobreviven a la entrada del bombeo, con una mortalidad media de 30% para todos los niveles tróficos y de 100% para las larvas de peces. En Inglaterra se ha observado que las bacterias y el fitoplancton son relativamente poco afectados por el stress físico, incluyendo la temperatura que encuentran durante el breve lapso de ingreso, aunque hay daño en un 10% de zooplancton mayor. Empero, al practicarse la clorinación mueren entre el 90 y el 99% de las bacterias y el fitoplancton, aunque se ha observado mortalidad retardada de hasta 40 horas.

Estudios detallados de cuatro especies de zooplancton en la entrada de un sitio subtropical en la costa del Golfo



de México, en Florida, con un incremento total de temperatura de sólo 5.9°C a través de toda la planta, mostraron que por encima de un umbral de temperatura ( 30-35°C) la mortalidad se incrementa especialmente para los copépodos ( GESAMP, 1984c). Cualesquiera que sean los datos aportados por diferentes estudios, si bien pueden ser útiles para conocer " la respuesta" de la biota marina a este tipo de impacto, lo cierto es que en la zona de ingreso debe -- desaparecer todo rastro de vida antes de que el agua ingrese a la sección de enfriamiento o en última instancia es aquí en donde culmina el ecocidio del flujo que ingresa, y el agua, ahora caliente y cargada de las sustancias, está lista para regresar al océano y culminar allí su impacto biológico.

A causa de que la pluma de agua caliente tiende a expandirse al ingresar al océano, y debido a la dinámica propia del refluo marino, el daño infringido por el calor y las especies químicas en los efluentes térmicos puede alcanzar una elevada magnitud.

En áreas tropicales y subtropicales ( de especial interés para México) se han hecho estudios de campo obteniendo se los siguientes resultados:

- las praderas de pastos marinos y arrecifes coralinos muestran daños del impacto de la pluma térmica a temperaturas que van de 4 a 5 °C por encima de la temperatura máxima normal de verano. Incrementos de temperatura de sólo 2 a 3 °C disminuyen el crecimiento en ambos grupos de organismos, lo que se manifiesta por descomposición de las láminas en los pastos marinos y pérdida de las algas zooxantelas, simbiontes normales de los corales hermatípicos

- con una elevación de temperatura en el agua receptora de 3 a 5 °C, la mayoría de los estudios muestran alteraciones de las comunidades bénticas y de peces, lo que resulta en una reducción de la riqueza de especies
- las especies euritérmicas (algas verdeazules, mangles y especies animales asociadas, ciertos moluscos, cangrejos y peces) son reclutadas en el área de descarga, mientras que las especies con estrechos intervalos térmicos, estenotérmicas (pasto tortuga, algas rojas y pardas, celenterados y equinodermos) mueren o emigran
- al reducirse la presión competitiva y la depredación como resultado de lo anterior, se presentan incrementos poblacionales importantes en las especies tolerantes
- se producen florecimientos de algas y se observa reducción en la diversidad de especies entre las algas en áreas de transición de temperaturas, aparecen grandes poblaciones de algas verdeazules en las áreas bénticas expuestas a las mayores temperaturas
- en áreas en donde la temperatura se ha incrementado en más de 5 °C (como en la estación Guayanilla, - Puerto Rico) los organismos macrobénticos han desaparecido por completo y la diversidad ictiológica ha caído en un 50% (GESAMP, 1984c)

En general, los estudios de laboratorio muestran que una vez excedido el umbral de tolerancia de temperatura los organismos mueren; la temperatura letal para ambos organismos, templados y tropicales, es de 35°C.

Además se han observado a temperaturas menores que el umbral, una serie de efectos indirectos, incluyendo:

- respuestas comportamentales
- cambios en la alimentación y el crecimiento
- cambios en la tasa de desarrollo juvenil
- cambios en las funciones metabólicas o bioquímicas

(GESAMP, 1984c).

Ejemplos de estos efectos en aguas templadas son: la diatomea Skeletonema costatum inhibe su actividad a 31°C; el molusco Pecten maximus presenta aumento en la mortalidad de las larvas con incrementos de 10 a 17°C; Mytilus edulis, aunque con baja mortalidad presenta un pobre asentamiento larvario a las mismas temperaturas; entre los crustáceos, Emala squinado incrementa su mortalidad al aumentar la temperatura, ésta y otras especies tienen 50% de mortalidad con temperaturas de 20 a 34°C; con el pez Dicentrarchus labrax, hay 100% de mortalidad en hucvecillos con un cambio de 10°C, las larvas no se afectan; y con cambios de 10 a 17°C, hay 100% de mortalidad en huevos y larvas de Clupea arengus, Engraulis encrasicolus, Solea solea, Scophthalmus maximus y Mullus surmuletus.

En organismos tropicales encontramos supresión de la fotosíntesis neta en el manglar del sur de Florida con un incremento de 5°C y fallas en el reclutamiento de Rhizophora mangle (Guayanilla) a 9°C de aumento; destrucción de los lechos de pastos marinos con incrementos de 4 a 5 °C y Thalassia sufre severos daños hasta desnudamiento de los lechos con el mismo valor de temperatura que en Florida; muerte y corrimientos en la composición de la comunidad en algas con cambios de 7 a 10°C, Caulerpa racemosa experimentó una duplicación en su tasa respiratoria con 2°C de incremento en la Isla de Guam en el Pacífico; mortalidad máxima de

copépodos al elevarse la temperatura a 30°C y muerte instantánea de ofiuroideos con temperaturas de 37.5 a 40°C, inhibición del desarrollo y fertilización en Echinometra mathaei entre 34 y 36°C; perturbación del metabolismo en Linckia spp a 36°C; muerte térmica incipiente de la estrella Acanthaster planci a 33°C; eliminación del macrobentos en Puerto Rico, con incrementos de entre 5 y 10°C; disminución del número de especies en comunidades de raíces de manglar a 34°C; pérdida de zooxantelas y elevada mortalidad en corales de Hawai con incrementos de 3 a 4 °C; muerte del mordedor rojo (Lutjanus blackfordi) a 33.75°C y muerte incipiente de peces marinos en el Golfo de Tailandia entre 34 y 37.5°C de temperatura (GESAMP, 1984c).

El impacto biológico queda claramente expuesto con la reacción del salmón ante el incremento de temperatura en el agua de los ríos a donde se dirigen para desovar; una vez que penetran en el agua caliente caen en un estado parecido al efecto de una droga lo que incrementa su susceptibilidad a la enfermedad y a la depredación, a la vez que se frustra su comportamiento reproductivo. Los salmones maduros regresan de mar abierto buscando naturalmente el río o la corriente en que nacieron, si entran a un agua que es más caliente que lo natural no nadarán río arriba. En lugar de ello lo harán alrededor de la boca hasta que baje la temperatura del agua, si ésta no desciende no se reproducirán, es decir que la contaminación de temperatura crea una barrera térmica que incide directamente sobre su adecuación y el futuro de la población (Ingmanson y Wallace, 1979).

Contaminación biológica. - la contaminación biológica ingresa al océano mundial fundamentalmente a través de las aguas negras, servidas o aguas de albañal. El término "aguas negras" se usa para referirse al producto de los sistemas de drenaje municipal que contienen los desechos domésticos, con o sin la adición de descargas provenientes de la industria, de la lluvia y de escurrimientos superficiales. Estas aguas son extremadamente heterogéneas y su composición es altamente variable (GESAMP, 1982b).

Algunos de los principales constituyentes son:

- sustancias que demandan oxígeno ( en su mayoría - materiales orgánicos, particularmente heces humanas)
- compuestos orgánicos refractarios [sustancias no biodegradables, de bajo peso molecular y baja volatilidad: generalmente hidrocarburos clorinados o aromáticos, entre los de origen industrial (que también se encuentran en hogares) están: acetona, benceno, cloroformo, cloruro de vinilo, pesticidas diversos, etc.,]
- virus, bacterias, hongos, etc. (en las heces)
- detergentes ( del hogar y otros usos comerciales o industriales)
- fosfatos ( de los detergentes, que causan eutroficación)
- grasas y aceites ( de la cocina, procesamiento de alimentos, desechos industriales y talleres automotrices)
- sales ( desechos humanos, ablandadores de agua, desechos industriales)
- metales pesados ( de desechos industriales y laboratorios químicos)

- agentes quelantes (la quelación es un proceso mediante el cual se forman complejos metálicos fuertes; los agentes quelantes tienen más de un átomo que se puede ligar a un ion metálico central a la vez para formar estructuras anilladas); entre los agentes quelantes naturales están las sustancias húmicas ( macromoléculas polielectrolíticas de alto peso molecular; son materiales resistentes a la degradación y se forman durante la descomposición de la vegetación) y los aminoácidos; entre los quelantes sintéticos se encuentran: tripolifosfato de sodio, etilendiaminotetracetato de sodio, -- nitrilotriacetato de sodio y citrato de sodio, los que se producen en grandes cantidades para tratamiento de aguas industriales, fabricación de detergentes y preparación de aditivos para alimentos
- sólidos provenientes de todas las fuentes (Manahan, 1984).

Aquí nos centraremos en los desechos domésticos y particularmente en los desechos humanos; los desechos domésticos contienen materia fecal, aguas de desecho de la ducha, lavado de ropa, enseres de cocina y otros, se caracterizan por su elevada demanda de oxígeno, las concentraciones de sólidos suspendidos y el contenido de coliformes fecales. Idealmente una salida de aguas negras que ingrese al océano mundial debería cumplir con los siguientes requisitos:

- las descargas a través de la salida deberían ser adecuadamente tratadas y/o desinfectadas, o la salida colocada de tal manera que salga o proteja el uso de las aguas costeras para el baño, el esquí u otros deportes acuáticos

- los desechos descargados no deberían contener materiales en cantidad tal que pudieran ser significativamente dañinos para la vida marina o las aves después de la dilución inicial, o causar daño a la salud humana
- las descargas no debieran producir la aparición de grasa, aceite o derrames aceitosos, sólidos gruesos flotantes o material visible de origen doméstico en aguas usadas para la natación o que conduzcan a condiciones inaceptables para la vista en las playas
- la coloración del agua cerca del punto de descarga no debe ser tal que cause condiciones objetables en áreas de recreación
- los desechos descargados no deben dar lugar a olores de aguas negras en las playas
- la salida debería estar localizada de tal manera que tome ventaja de corrientes marinas favorables que eviten el depósito de sólidos, y debería estar localizada y construida de tal forma que produzca una dilución inicial adecuada

Los puntos principales de preocupación en relación a la disposición de aguas negras son:

- daños a los recursos vivos del océano
- peligros para la salud humana
- interferencia con los fines recreativos

Allí donde las condiciones de dispersión son pobres ( lagunas costeras, bahías, etc., ) puede presentarse un agotamiento excesivo de oxígeno y deposición de materia orgánica lo que puede ser muy dañino a nivel local para la biota oceánica (GESAMP, 1980a).

El impacto principal de las aguas negras descargadas a través de tubería en aguas relativamente profundas o bienmezcladas, se da en la vecindad inmediata del sitio de descarga en donde la turbidez provocada por el flujo abate la producción fitoplanctónica, y en el medio béntico que resulta alterado por la sedimentación. En la periferia, el efecto es usualmente de reforzamiento de las comunidades biológicas debido al ingreso masivo de nutrientes orgánicos e inorgánicos. Si la tubería de salida descarga sobre la costa, puede estimularse el crecimiento de malezas marinas y de especies animales de intermarea adaptadas a altos niveles de nutrientes. Tal estímulo de grupos limitados de especies es uno de los efectos importantes de la descarga de aguas negras, ya que perturba la transferencia de energía a través de las redes tróficas, lo que eventualmente conduce a una gran reducción en la diversidad de especies. El impacto puede ser considerable sobre algunas comunidades naturales, tales como los arrecifes coralinos o en habitats de bajo nivel de nutrientes en donde el balance de las especies establecido después de mucho tiempo puede ser fácilmente perturbado (GESAMP, 1982b).

No obstante, aunque en ocasiones hay una acumulación de sustancias tóxicas en los sedimentos, no se han detectado efectos adversos en los ecosistemas respectivos debido solamente a este factor, y los principales cambios deben atribuirse más bien al enriquecimiento orgánico que conduce a comunidades bénticas pobres en especies pero ricas en biomasa total. Sólo en los peores casos se alteran sustancialmente la estructura y condiciones de los sedimentos, por ejemplo cuando el depósito de materia orgánica conduce a condiciones anóxicas sobre el fondo y la capa de agua que lo cubre, entonces la macrofauna béntica puede reducirse a sólo unas pocas especies



de gusanos resistentes. Es por ello que el índice más comúnmente usado de contaminación orgánica acuática es la Demanda de Oxígeno Biológico (DOB), la que se refiere a la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para oxidar aeróbicamente los desechos orgánicos a dióxido de carbono y agua. Este parámetro se mide determinando la cantidad de oxígeno - utilizado por los microorganismos acuáticos apropiados durante un período de cinco días a 20°C. No hay nada particularmente sagrado acerca de un período de cinco días para la -- cuantificación de la DOB, no obstante, la prueba desarrollada en Inglaterra - en donde el flujo máximo de la corriente fluvial es de cinco días - dictamina que cualquier contaminante (materia orgánica) que no se descomponga en cinco días, podría llegar al mar. A pesar de su naturaleza arbitraria, de - alguna forma la prueba de la DOB permanece como una medición respetable de la demanda de oxígeno a corto plazo ejercida -- por un contaminante (Manahan, 1984).

Las aguas domésticas residuales tienen una DOB típica de aproximadamente 200 mg de  $O_2$ /l mientras que las industriales pueden alcanzar miles de mg/l. Una DOB de 77 gramos es llamada un "equivalente poblacional", y es aproximadamente --- igual a los requerimientos diarios para los desechos domésticos de una persona. Los cálculos basados en estos datos nos pueden dar una mejor idea de la magnitud del problema que enfrentan las comunidades litorales ya que es aquí en donde se vierte la mayoría de los desechos de este tipo. De acuerdo con Ehrlich et al. (1977), la DOB de cada norteamericano, sumando los desechos comerciales e industriales per capita es igual a 230 gr/ $O_2$  disuelto/ persona/día. Si consideramos - una población de 237 millones de personas para mediados de -- 1984 (World Bank, 1986) entonces la DOB total de la población norteamericana sobre sus ríos y costas oceánicas es de 54.5 millones de kilogramos de oxígeno al día para una DOB -

total, si sólo consideramos los desechos domésticos de los que la mayor parte están comprendidos por las excretas -- ( 75 gr/persona/día) las cifras se reducen a sólo 18 millones de kg de oxígeno disuelto por día; ahora bien, en los Estados Unidos el volumen de desperdicios animales se calcula como diez veces mayor que el volumen de desperdicios humanos ( Schachter y Serwer, 1971). Si esto es así - debido a que en este país no se usan con regularidad los excrementos animales ni como abono ni como combustible y considerando que en su mayor parte van a terminar en el océano - la DOB por excretas sube a 190 millones de kg de oxígeno y la demanda total ( incluyendo industria y comercio per capita) - a casi 226 millones de kg de oxígeno disuelto por día, esto necesariamente tiene que incidir sobre las condiciones del agua para la sobrevivencia de los organismos marinos en los litorales norteamericanos.

Si extendemos sólo el cálculo de la DOB doméstica a la población mundial - considerando una reducción del 50% en el valor de 77 gr debido a la elevada tasa de ingesta alimentaria norteamericana - y consideramos un equivalente poblacional de 40 gr de oxígeno per capita, la DOB de la población mundial en su conjunto para mediados de 1985 habría sido de 194 millones de kg de oxígeno disuelto (Voelpel, -- 1985); debido a la imposibilidad de manejar cifras referentes a la DOB comercial, industrial y animal del mundo que -- tal vez sería el doble o triple de la anterior, concluiré - mos que independientemente de las cifras precisas, que bien pudieran exceder los 1000 millones de kg/día, ésta exagerada, constante y creciente demanda de oxígeno biológico acuático, fundamentalmente oceánico, por parte de la población humana, sus animales y los productos de su actividad industrial, -

están ejerciendo una fuerte presión sobre los ecosistemas naturales, incluso mares enteros y por supuesto grandes zonas de la plataforma continental del mundo. Al contemplar las cifras no podemos perder de vista la sinergia del impacto humano sobre el océano, ya que a la DOB comentada se suma la pérdida de oxígeno disuelto debida al calentamiento del agua y a la reacción del mismo gas con otros desechos arrojados por el hombre ( metales ferrosos y no ferrosos, petróleo y otros muchos materiales que se oxidan al contacto con el agua).

Peligros para la salud humana.- las descargas de aguas residuales y lodos de alcantarillado introducen al océano un flujo continuo de bacterias patógenas, hongos, virus y parásitos en las aguas costeras alrededor de las áreas urbanas, reflejando el intervalo de enfermedades presentes en la población humana. Estos organismos pueden sobrevivir por horas, algunas veces días, en el mar, y los virus pueden sobrevivir por más tiempo que las bacterias particularmente cuando se adhieren a organismos bentónicos. En ciertas partes del mundo en donde los sistemas de drenaje son inefectivos o están ausentes, las heces pueden ser depositadas directamente en la playa, con peligros obvios de infección ( GESAMP, - 1982b). Esto sucede con mayor frecuencia de lo que pudiera pensarse. En el este del continente africano ocho naciones: Somalia, Kenia, Tanzania, Mozambique, Madagascar, Mauricio, Comoros y Seychelles vierten sus desechos casi sin ningún tratamiento a diferentes ecosistemas del Océano Indico.

Ello ha provocado la aparición de diversos problemas de salud en la región; las enfermedades más comunes y los organismos que las causan, relacionados ambos con el vertido incontrolado de desechos humanos al mar, son:

cólera (Vibrio cholerae), tifoidea (Salmonella typhi), disentería bacilar (Shigella spp), gastroenteritis infantil (Escherichia coli), otras infecciones por Salmonella incluyendo contaminación alimentaria y gastroenteritis general (Salmonella spp), poliomielitis (virus), diarrea infantil (virus), otras infecciones virales incluyendo gastroenteritis viral (virus), disentería amebiana (protozoarios: Entamoeba histolytica), ascariasis (nemátodos, gusanos redondos) infecciones por tenias en carne de res y de puerco (Taenia saginata y T. solium, respectivamente), e infecciones intestinales por lombrices (Ascaris lumbricoides). Enfermedades indirectamente provocadas: leptospirosis (Leptospira spp), peste (Yersinia pestis), conjuntivitis incluyendo tracoma (virus), filariasis incluyendo elefantiasis (Filaria spp), fiebre del dengue (virus), esquistosomiasis (plathelminetos: Schistosoma spp), malaria (protozoarios: Plasmodium spp) y tripanosomiasis (Trypanosoma gambiense), (Osore, 1983). Algunas de estas enfermedades se adquieren por contacto directo con el agua contaminada, otras por la ingesta de peces y moluscos crudos o indebidamente cocinados. Las principales enfermedades provocadas en el hombre por esta vía, señalando agente etiológico, enfermedad y manifestaciones más comunes, son:

infecciones bacterianas:

Salmonella typhi y S. paratyphi (fiebre tifoidea y paratifoidea con septicemia); S. typhimurium y S. enteritidis (salmonelosis: gastroenteritis); Vibrio parahaemolyticus (diarrea y dolor abdominal)

intoxicaciones bacterianas:

Clostridium botulinum (botulismo: síntomas neurológicos con elevada tasa de mortalidad; Staphylococcus aureus (intoxicación estafilocócica: náusea, vómito, dolor abdominal y postración)

intoxicación bacteriana intravital (intoxicación por toxinas de bacterias presentes en alimentos altamente contaminados): Clostridium perfringens (diarrea, dolor abdominal)

infecciones bacterianas de la piel:

Erysipelothrix insidiosa (erisipela: inflamación se-  
vera de heridas cutáneas superficiales)

infección viral:

virus de la hepatitis infecciosa (hepatitis infeccio-  
sa)

infecciones parasitarias:

tremátodos: Clonorchis sinensis (clonorquiasis: sig-  
nos y síntomas relacionados a daño hepático); --  
Opisthorchis felineus (opistorquiasis: cirrosis -  
del hígado); Heterophyes heterophyes (heterofiasis:  
dolor abdominal, diarrea mucosa, los huevecillos --  
pueden ser llevados al cerebro, corazón, etc., pro-  
vocando síntomas atípicos); Metagonimus yokogawi --  
(metagonomiasis: usualmente diarrea ligera); --  
Paragonimus westermani y P. ringieri (paragonimia-  
sis: usualmente tos crónica y hemoptisis)

céstodos: Diphyllobothrium latum (difilobotriasis: -  
signos de gastroenteritis, anemia y debilidad)

nemátodos: Anisakis matina (anisaquiasis: enteritis-  
cosinófila) y Angiostrongylus cantonensis (meningi-  
tis cosinófila), (GESAMP, 1984b).

Una tercera vía de contagio para el hombre se ha identificado en años recientes con la interfase mar/aire; se ha demostrado que pueden acumularse bacterias y virus en la microcapa del océano por las burbujas y ser proyectados a la atmósfera por la explosión de las mismas y por el viento. Actualmente hay evidencia de que algunos microorganismos productores de enfermedades son transmitidos a través de la atmósfera, incluyendo la bacteria responsable de la " enfermedad de los legionarios" (Legionella pneumophila). Se ha sugerido que ciertos microorganismos pudieran encapsularse en materiales oleofílicos -- producidos por los organismos marinos en la superficie del mar y preservarse así para su transmisión atmosférica a grandes -- distancias. Se ha sugerido también que los materiales de su -- superficie activa ( surfactantes) de los derrames pudieran ---

recubrir las células portadas por el aire y deprimir la tensión superficial normal en el sitio de depósito en los alveolos. En el estado actual de conocimientos, es incierto el significado epidemiológico de la transferencia de microorganismos patógenos del mar a la tierra a través de la atmósfera. Aunque en 1975 un grupo de investigadores presentó evidencia convincente de la transmisión de la infección por Mycobacterium intracellulare de aguas costeras del Atlántico al sureste continental de los Estados Unidos (GESAMP, 1980c).

Además del transporte de bacterias y virus del mar hacia tierra, vía la atmósfera, hay potencial para la transmisión por este medio de esporas de hongos y parásitos que podrían infectar no sólo a seres humanos y otros animales sino también a los productos de la agricultura.

## ATMOSFERA

La atmósfera que rodea a la Tierra, y que llamamos comúnmente el aire, consiste de capas y mezclas de gases así como de vapor de agua y partículas sólidas y líquidas ( Nicolet, - 1975). Se extiende cubriendo el planeta hasta una altura de muchos kilómetros. Esta envoltura de aire retenida por la Tierra merced a la acción de la gravedad, es muy densa al nivel del mar y se enrarece rápidamente hacia arriba. Aunque casi toda la atmósfera (97%) existe dentro de los primeros - 29 km a partir de la superficie, su límite exterior puede -- trazarse hasta un altura de 10 mil km, una distancia parecida al diámetro mismo del planeta ( Strahler y Strahler, 1979).

Toda la vida sobre la Tierra depende de alguna manera de la atmósfera; no obstante, sólo en tiempos comparativamente recientes la humanidad se ha percatado del grado al cual sus actividades pueden interferir con este recurso vital.

La atmósfera juega un papel relevante en el ciclo hidrológico ya que nos provee de agua dulce, transfiriéndola de los océanos a los continentes, eliminando la sal en el trayecto por evaporación. La atmósfera tiene una gran capacidad asimilativa para los contaminantes, dispersándolos rápidamente mientras los diluye. Provee una diversidad de medios ambientes sustentadores de la vida para el hombre y los demás organismos de la Biósfera. La atmósfera protege plantas, animales y microorganismos de las longitudes de onda e intensidades dañinas de la radiación solar, proveyéndonos de una cubierta protectora del ambiente hostil del espacio exterior, y facilita la dispersión de semillas y de nutrientes de origen volcánico y de otro tipo.

La atmósfera es la fuente del dióxido de carbono para la fotosíntesis vegetal y del oxígeno para la respiración, provee el nitrógeno que usan las bacterias fijadoras y las plantas industriales que fabrican amoníaco y es un eslabón importante en el reciclamiento continuo del hidrógeno; de esta forma tiene una relación directa con los cuatro elementos requeridos en mayor cantidad por los organismos vivos.

La atmósfera es esencial para mantener el balance térmico de la Tierra, absorbe la radiación infrarroja (RIR) emitida por el sol y también absorbe energía re-emitida por el planeta en forma de RIR. Por lo tanto, tiene una importante función estabilizadora del calor, evita los tremendos extremos de temperatura que ocurren en otros planetas y lunas que carecen de atmósferas sustanciales, moderando la temperatura superficial de la Tierra básicamente a través del flujo que transporta calor del ecuador a los polos y como resultado de su interacción térmica con el gran acumulador oceánico -- (Ehrlich et al., 1977 ; Holdgate et al., 1982 ; Manahan, - 1984).

La presión promedio ejercida por la atmósfera sobre objetos en la superficie de la Tierra es esencialmente igual al peso de una columna vertical de atmósfera sobre el objeto o superficie en cuestión al nivel del mar y equivale a  $1.033 \text{ kg/cm}^2$  ( $10.3 \text{ TM/m}^2$ ). Así la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la Tierra igual a la que ejercería al nivel del mar una columna de agua de cerca de 10 metros de altura o una columna de mercurio de 760 milímetros de alto. Esto significa que la masa total de la atmósfera es equivalente a una capa de agua de sólo 10 metros que cubriera homogéneamente a la Tierra.



La unidad métrica usual para medir la presión atmosférica es el milibar, 1 milibar es igual a  $100 \text{ newtons/m}^2$  ( -- 1 newton es la unidad métrica básica de fuerza), y una atmósfera es igual a 1013.25 milibares.

Al elevarnos en la atmósfera la presión disminuye y a una altitud de 6 kilómetros es sólo la mitad que a nivel del mar; debido a que es compresible su masa está concentrada en las capas inferiores. El 50% del aire en la atmósfera permanece por debajo de 5.5 kilómetros, el 66% se encuentra por debajo de la cumbre del Monte Everest a 8,848 metros sobre el nivel del mar y el 75% por abajo de 11 kilómetros ( Manahan, 1984). La densidad del aire a 12 kilómetros de altura (zona de vuelo de los aviones jet subsónicos) es casi una quinta parte de la densidad al nivel del mar ( Nicolet, 1975; Ehrlich, et al., 1977).

La atmósfera ha sido dividida para su estudio en atmósfera inferior o baja atmósfera ( de la superficie hasta casi 85 kilómetros de altura) y la atmósfera superior o alta atmósfera (de 85 a cerca de 10 mil kilómetros por encima de la superficie terrestre). Debido a la composición homogénea de la baja atmósfera también ha sido llamada homosfera, contrariamente a la alta atmósfera en donde los constituyentes moleculares están separados en capas distintas de diferente composición -- llamándose por ello a esta región heterosfera.

La división de la atmósfera en capas ha sido hecha en base al patrón de distribución vertical de la temperatura en cada una de ellas y a las zonas de cambio de la temperatura; la estratificación particularizada comprende:

región	temperatura en grados centígrados	altura en kilómetros	especies químicas dominantes
troposfera	15 a - 56	0 - ( 10 - 16)	H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
estratosfera	-56 a - 2	(10 - 16) - 50	O <sub>3</sub>
mesosfera	- 2 a - 92	50 - 85	O <sub>2</sub> <sup>+</sup> , NO <sup>+</sup>
termosfera	-92 a 1200	85 - 500	O <sub>2</sub> <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , NO <sup>+</sup>
(Manahan, 1984) a las que debemos añadir la capa exterior o			
exosfera	(*)	500 - 10,000	O, He, H
(Nicolet, 1975)			

(\*) Debido a que esta capa exterior de la atmósfera se extiende hasta el espacio exterior, no existen datos suficientes para determinar su intervalo de temperatura.

La estructura térmica de la baja atmósfera es como sigue:

altitud aproximada en kilómetros.	presión aproximada en milibares	estrato
0-1.3	0.1	capa de enlace planetario
troposfera ( fuerte disminución de temperatura con la altura)		
9- 17	100-300	tropopausa (fría)
estratosfera (usualmente un decremento lento de la temperatura con la altura)		
50	0.1	estratopausa (caliente)
mesosfera ( fuerte disminución de la temperatura con la altura)		
85	0.01	mesopausa (fría)
termosfera (extensa ionización)		

( IES, 1979)

Atmósfera inferior. - la parte tal vez más importante para la vida en la Tierra, incluyendo al hombre ( debido a su estrecho contacto ) es la troposfera, en el fondo de la atmósfera, ya que allí se manifiestan características bien definidas y determinadas por la latitud, " estación" del año, rotación de la Tierra, distribución de los continentes y océanos y la altitud ( Holdgate et al., 1982). Se caracteriza en general por una disminución uniforme de temperatura a una tasa promedio de 6.4 °C/km ( Ehrlich et al., 1977). Es turbulenta, ventosa, nubosa y lluviosa, y por lo tanto bien mezclada, con tendencia hacia una composición uniforme. Contiene también la mayor parte del vapor de agua ( IES, 1979) el cual le da a la troposfera la calidad de una cubierta aislante ya que el vapor de agua que absorbe la RIR proveniente de la Tierra, al igual que el dióxido de carbono, evita que se pierda calor ayudando a mantener el equilibrio térmico de la Biósfera ( Strahler y - Strahler, 1979). La troposfera contiene además cerca del 85% de la masa total de la atmósfera ( IES, 1979).

El límite superior de la troposfera es la tropopausa, aquí se detiene la declinación de la temperatura y se inicia una capa de temperatura uniforme de unos- 55°C. La tropopausa se encuentra típicamente a una altitud de 10 a 12 kilómetros en promedio, pero en realidad se presenta a cerca de 17 kilómetros en el ecuador y a sólo 6 u 8 kilómetros en los polos, en las latitudes medias este límite varía con las condiciones atmosféricas. En áreas de alta presión es de cerca de 13 kilómetros y puede estar por abajo de 7 kilómetros en condiciones de baja presión ( Nicolet, 1975; Ehrlich et al., 1977). Incluso durante un período de sólo un día el límite superior de la troposfera puede variar en 1 kilómetro o más ( Manahan, 1984). La tropopausa sirve como una barrera para evitar la pérdida neta de hidrógeno de la Tierra. Ello se explica porque su baja temperatura condensa el agua en partículas de hielo, lo que evita -

que ésta alcance mayores altitudes en donde podría fotodisociarse a través de la acción de la intensa luz UV de alta energía, lo que resultaría en el escape del hidrógeno de la atmósfera de la Tierra al espacio exterior ( de hecho en esta forma escaparon en tiempos geológicos grandes volúmenes de hidrógeno y helio), (Manahan, 1984).

La estratosfera es mucho menos turbulenta que la troposfera, se caracteriza por el incremento de la temperatura al aumentar la altitud, la temperatura alcanza un máximo de 0°C - en su parte superior, se incrementa debido a la presencia de ozono que puede alcanzar un nivel de 25 ppm/volumen en su región media, es decir mil veces más que la concentración promedio de ozono en la atmósfera total; el ozono absorbe energía en forma de luz UV y provoca el incremento, absorbe también RIR que proviene de la superficie ( Ehrlich et al., 1977; Manahan, 1984). El límite superior de la estratosfera es la estratopausa, es un nivel de alta temperatura muy parecida a la de la superficie terrestre ( IES, 1979); aquí puede haber también variaciones en la temperatura con la latitud y con las estaciones.

La troposfera y la estratosfera están claramente separadas; el intercambio de aires entre ambas requiere de meses - y en ocasiones de años para realizarse, lo que indica una diferencia en la circulación del aire dentro de ambas zonas -- ( Nicolet, 1975).

Por arriba de 50 kilómetros está la mesosfera, o región media, caracterizada por una rápida disminución de la temperatura hasta alcanzar un mínimo en cerca de 85 kilómetros de altitud, la disminución de la temperatura con incrementos en la altitud se debe a la disminución en los niveles de especies

químicas absorbentes de la radiación, particularmente el ozono (Manahan, 1984); al igual que la troposfera, la mesosfera está sujeta a fuertes variaciones estacionales de temperatura a altas latitudes; el nivel prevaleciente del mínimo de temperatura indica el límite de esta capa, la mesopausa (Nicplet, -1975).

Atmósfera superior. - más allá de la mesopausa hay una región atmosférica con características diferentes de las de las regiones inferiores; el primer estrato en esta región es la termosfera en la cual la temperatura sube nuevamente con la altitud hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 1,200 °C debido a la absorción por sustancias químicas de radiación de alta energía con longitudes de onda menores de 200 nm (Manahan, 1984).

La altitud a la cual cesa este incremento de temperatura es la termopausa la que se encuentra en la base de una región isotérmica (de temperatura constante). La termosfera, no obstante, no tiene límites superiores bien definidos, su densidad a 100 kilómetros es de cerca de 1 millonésima de la densidad atmosférica al nivel del mar y al llegar a 10 mil kilómetros en la región de la exosfera la densidad disminuye hasta aproximarse a la prevaleciente en el espacio interestelar (Ehrlich et al., 1977).

Por encima de cierto nivel, la atmósfera está sujeta a la radiación UV\*, los rayos X y las partículas solares, ello causa la producción de partículas cargadas eléctricamente, es decir, iones y electrones de varias clases de átomos y moléculas en la llamada ionosfera, la que puede extenderse desde la mesosfera hasta los límites más exteriores de la atmósfera.

---

\* radiación ultravioleta (RUV)

Composición química. - la baja atmósfera es muy uniforme en composición, aunque hay algunas diferencias significativas entre la troposfera y la estratosfera. Es una mezcla de gases junto con un número excesivamente grande de partículas suspendidas, algunas líquidas, algunas sólidas y algunos iones cargados eléctricamente. Los gases fijos o permanentes son virtualmente constantes en proporción a través de ambas capas, incluyen en orden descendiente de abundancia:

componentes mayores:

nitrógeno ( 78.08% ) y oxígeno ( 20.95% )

componentes menores:

argón ( 0.934% ) y dióxido de carbono ( 0.034% )

Además el aire puede contener de 0.1 a 5% de agua por volumen, con un promedio de 1 a 3 % en forma de vapor. También se encuentran pequeños porcentajes de gases nobles:

neón	$1.818 \times 10^{-3}$ %	por volumen en aire seco
helio	$5.240 \times 10^{-4}$ %	" " " " "
kriptón	$1.140 \times 10^{-4}$ %	" " " " "
xenón	$8.700 \times 10^{-6}$ %	" " " " "

La estratosfera y troposfera también incluyen ciertos gases que varían espacial y temporalmente. Aunque su volumen es pequeño en comparación con el monto de los gases fijos, estos constituyentes juegan papeles ambientales importantes:

	(a)	(b)
metano	2 ppmv	$1.6 \times 10^{-4}$ %v
ozono	0-10 ppmv	
hidrógeno	0.5 ppmv	$5 \times 10^{-5}$ %v
óxido nítrico	0.3 ppmv	$3 \times 10^{-5}$ %v
monóxido de carbono	0.1 ppmv	$1.2 \times 10^{-5}$ %v

(a) IES, 1979

(b) Manahan, 1984.

En adición, la atmósfera incluye muchos otros gases traza, algunos naturales otros antropogénicos, que son: ácido nítrico, amoníaco, peróxido de hidrógeno, sulfuro de carbono, tetracloruro de carbono, cloruro de metilo, dióxido de azufre, iodo, clorofluorocarbonos y terpenos ( IES, 1979; Manahan , - 1984).

La densidad de la atmósfera como dijimos disminuye agudamente con la creciente altitud como consecuencia de la gravedad y de las leyes de los gases. Más del 99% de la masa total de la atmósfera se encuentra dentro de los primeros 30 km, esta masa pesa aproximadamente  $5.14 \times 10^{15}$  TM, y aunque es una cantidad importante representa sólo una millonésima de la masa total planetaria. Las características de la atmósfera varían grandemente en particular con la altitud y otros factores que introducen variabilidad: la estación, latitud, clima particular e incluso la actividad solar. Las temperaturas en la atmósfera pueden variar desde - 139°C a más de 1,700 °C, la presión atmosférica cae desde 1.0 atmósfera a nivel del mar, -- hasta 3.0 por  $10^{-7}$  atmósferas a 100 km de altura; debido a estas variaciones la química de la atmósfera es muy variable.

En adición a las diferencias de temperatura, la " trayectoria libre promedio" de las especies químicas en la atmósfera, es decir, la distancia promedio recorrida antes de la colisión con otra partícula, se incrementa en muchos órdenes de magnitud al aumentar la altitud. Una partícula que tenga una trayectoria libre promedio de cerca de  $1 \times 10^{-6}$  cm al nivel del mar, tiene otra de más de  $2 \times 10^{-6}$  cm a una altitud de 500 km, en donde la presión es mucho más baja ( Manahan, 1984).

Flujo de energía y clima. - los cambios de temperatura con la altitud en la atmósfera se explican por la forma en que tanto la energía radiante que proviene del Sol como la que trata de

escapar de la superficie terrestre al espacio interactúan con los diferentes constituyentes atmosféricos; estos mismos procesos determinan cuánta y qué clases de energía alcanzan la superficie, de tal manera que son cruciales para determinar las condiciones que gobiernan la vida.

La energía en la radiación electromagnética del sol que llega a la parte superior de la atmósfera se distribuye en un amplio intervalo de longitudes de onda que comprenden:

- 9% en la región UV del espectro
- 41% en la región visible
- 50% en la región infrarroja

Los constituyentes gaseosos atmosféricos, son opacos a ciertas longitudes de onda y evitan que una parte significativa de la radiación alcance la superficie; esta opacidad no es debida a la reflexión sino a la absorción, de tal manera que la energía en la radiación es absorbida por las moléculas de gas, calentando las capas atmosféricas.

Los resultados principales de esta depauperación de la radiación incidente por absorción son:

- la radiación solar UV con longitud de onda menor de 0.3 micrones es absorbida casi completamente en las partes superiores de la atmósfera
- la radiación solar IR es agotada sustancialmente debido a su absorción por el dióxido de carbono y especialmente por el vapor de agua a bajas altitudes.

Los gases atmosféricos son casi completamente transparentes a las longitudes de onda visibles, ahí donde alcanza su máximo la intensidad de la radiación solar, y a la radiación UV cercana con longitud de onda más corta que la visible.



El único gas atmosférico que es significativamente opaco a la RUV entre 0.18 y 0.30 micrones es el ozono ( Ehrlich - et al., 1977).

Sin las trazas de ozono que existen en la estratosfera- esta radiación alcanzaría la superficie del planeta, en donde podría ser extremadamente perturbadora para las formas - de vida presentes que evolucionaron en ausencia de tales -- longitudes de onda. La absorción de la RUV por el ozono en la estratosfera tiene otro efecto importante, produce el ca lentamiento estratosférico que provoca la elevación de la - temperatura con la altitud, resultando en una estratifica - ción térmica vertical tipo océano, con su capa más caliente en la " superficie" y capas progresivamente más frías hacia abajo, lo que tiende a suprimir el movimiento vertical.

Parte de la radiación entrante no es absorbida pero es - dispersada por los gases atmosféricos, parte de esta radiación dispersada regresa al espacio exterior ( lo que se llama reflexión difusa) y parte alcanza finalmente la superfi - cie como radiación solar difusa. Tanto la absorción como la dispersión de la radiación solar, son efectuadas por los gases y por aerosoles ( partículas tamaño coloidal de 0.001 a 1.0 micrones, Manahan, 1984), estos pueden ser suspensiones- de partículas sólidas o líquidas, ejemplos de ello son: niebla, nubes, polvo, ceniza volcánica, sales marinas suspendidas y el "esmog" .

Que el aerosol actúe como absorbedor o reflector, depende del tamaño y composición de las partículas, de la altitud a la que se encuentre y de la humedad relativa del aire que las envuelve; ciertamente los aerosoles que interactúan más fuer - te con la radiación solar son las nubes, las que cubren perma - nentemente casi la mitad de la superficie de la Tierra con una capa altamente reflejante; el albedo de las nubes varía entre 0.25 y 0.90.

Tomando un promedio anual y global, la cantidad de energía solar que alcanza la superficie terrestre es equivalente al 50% de la que incide sobre la atmósfera superior ( Strahler y Strahler, 1979). Aproximadamente un 3% es reflejada, con un albedo de las superficies reflejantes que varía de la tierra al agua y de un tipo de vegetación o suelo a otro, y por su puesto dependiendo del ángulo de incidencia de la radiación, finalmente, 47% es absorbido por la superficie ( Ehrlich -- et al., 1977); ya que la primera ley de la termodinámica establece que la energía no se crea ni se destruye, podemos concluir que:

- la tasa a la cual la atmósfera y la superficie terrestres absorben energía solar debe ser proporcional a la tasa mediante la cual el sistema tierra/aire pierde energía, es decir, que el flujo energético de entrada debe igualar al de salida para que el sistema esté en equilibrio. Ello no significa que todas las regiones del planeta se encuentren en equilibrio permanente, más bien lo contrario es lo común; la temperatura, humedad, cubierta nival y cantidad de vegetación cambian de manera dramática con las estaciones, particularmente en altas y medias latitudes, e incluso las condiciones aparentemente constantes del ecuador sufren también cambios sensibles aunque en mucho menor escala, o sea que el flujo de ingreso y el de salida de energía en tiempos y lugares específicos generalmente no están balanceados, pero deben hacerlo en promedio anual para toda la Tierra, de lo contrario habría cambios en los valores promedio como los ha habido en el pasado, por ejemplo, las glaciaciones.

- las mismas consideraciones de flujos energéticos y de equilibrio que se aplican al sistema Tierra-atmósfera como una totalidad, deben aplicarse separadamente a sus componentes. Si la atmósfera va a estar en equilibrio en un sentido global promedio, debe perder energía a la misma tasa que la recibe.

Además del 47% de radiación solar captado por la superficie, la atmósfera absorbe un 22%, de tal manera que este 69% de la energía solar total es utilizado para hacer funcionar el sistema de vientos, olas, corrientes oceánicas, el ciclo hidrológico y la fotosíntesis; después la energía es regresada al espacio exterior como radiación terrestre, la mayor parte de ésta es emitida no por la superficie sino por la atmósfera, - ello se debe a que la mayoría de la radiación emitida por la superficie no escapa directamente al espacio ya que la atmósfera es opaca en gran medida a la radiación de estas longitudes. La Tierra por supuesto emite su radiación electromagnética en longitudes de onda largas, el pico de esta radiación se presenta en cerca de 10 micrones lo que se localiza en la parte infrarroja del espectro, en contraste al pico de la radiación solar que se localiza en los 0.5 micrones en la parte visible del espectro.

La opacidad de la atmósfera a la RIR que escapa de la superficie se debe principalmente a tres constituyentes atmosféricos: dióxido de carbono, vapor de agua y las nubes, aunque el ozono realiza también una modesta contribución. El dióxido de carbono absorbe RIR en una estrecha banda de longitudes de onda de casi 3 a 4 micrones y entre 12 y 18 micrones - de longitud; el vapor de agua absorbe RIR en estrechas bandas de casi 1.0, 1.5 y 2.0 micrones y en bandas más amplias de -- 2.5 a 3.5, de 5 a 8 y de 15 micrones a través del restante - espectro IR. Las nubes son muy parecidas a un cuerpo negro -

( cuerpo que absorbe toda la radiación que incide sobre él - en todas las longitudes de onda), en toda la región IR del espectro electromagnético, ya que absorben la mayor parte de la RIR que reciben. Esta RIR absorbida por los tres componentes señalados es ahora reirradiada en su mayor parte por estas sustancias de regreso a la superficie y otra porción escapa al espacio exterior; de tal manera que por este mecanismo la atmósfera, gracias a estos constituyentes, actúa como una cubierta térmica que mantiene la superficie del planeta a 15°C , casi 33°C más caliente de lo que debería estar - sin este efecto combinado, es decir, a menos 18°C ( Ehrlich et al., 1977). A ello se debe que las noches sin nubes sean más frías que las nubosas ya que más RIR escapa directamente al espacio exterior. El efecto adicional de cobertura térmica ( ya que las nubes constituyen el más importante), lo ejercen el vapor de agua y el dióxido de carbono y es llamado por los climatólogos el "efecto invernadero" ( Strahler y Strahler, 1979).

Cualquier perturbación introducida en ya sea la nubosidad o las concentraciones de vapor de agua y dióxido de carbono, tendrá un efecto consecuente sobre el calentamiento de la superficie por reirradiación, de hecho dos estudios recientes han documentado el principio del calentamiento de la Tierra - debido a la elevación de la concentración de dióxido de carbono y otros gases invernadero en la atmósfera ( Brown, 1987).

Los movimientos verticales y los flujos horizontales de la radiación solar y sus productos de incidencia sobre el océano y la tierra van a configurar, junto con la composición de la atmósfera y las características de la superficie, el clima total de la Tierra ( SMIC, 1971).

### Contaminación

Una de las influencias más evidentes del hombre sobre el medio ambiente es su contaminación directa de la atmósfera, y en particular de la troposfera en donde desarrolla su actividad; en general introduce sustancias traza a través de:

- emisión de gases y partículas (principalmente de la oxidación de combustibles fósiles) en ciudades grandes y pequeñas, áreas industriales y fuentes de transporte (automotores en su mayoría)
- quema agrícola del rastrojo y fuegos forestales y depastizales por accidente o intención
- labranza (sobre todo la mecanizada, Eckholm, 1975) y el sobrepastoreo, que generan polvo del suelo el que se desprende con la erosión eólica y sube a la troposfera liberando partículas que actúan como núcleos de condensación y congelamiento (Holdgate et al., 1982)

entre las sustancias traza más importantes liberadas a la troposfera están:

- contaminantes tradicionales de las ciudades: ollín, - dióxido de azufre, monóxido de carbono, ácido sulfhídrico, mercaptanos y otros compuestos odoríferos y fluoruros. Solamente en los Estados Unidos se estimó que en 1975 se liberaron a la atmósfera vfa automóviles, industria, producción de electricidad y otros: - 96 millones de TM de monóxido de carbono; si se estima que la carga total atmosférica es de casi 530 millones de TM se comprenderá la magnitud del problema -- (Manahan, 1984).
- gases fotoquímicamente reactivos (que producen reacciones y productos químicos por la absorción de luz), como los óxidos de azufre y de nitrógeno, e hidrocarburos que producen oxidantes y partículas (sulfatos

y nitratos) en presencia de luz solar a cientos de kilómetros de la fuente, las partículas son precipitadas subsecuentemente en la lluvia ácida o mediante el depósito seco. Se estima que a través de la quema de combustibles fósiles y otros, se introducen a la troposfera 65 millones de TM de azufre como dióxido de azufre y sulfatos; sólo en los Estados Unidos se introdujeron durante 1975, 33 millones de TM de óxidos de azufre y 24 millones de TM de óxido de nitrógeno (Manahan, 1984).

- gases que no atañan de manera significativa los rayos del sol, pero que absorben la RIR que proviene de la superficie elevando la temperatura troposférica y creando el efecto invernadero, principalmente : dióxido de carbono pero también, los CFC, óxido nitroso, metano, amoníaco etc., En total se liberan a la atmósfera casi 86 millones de TM de óxidos de nitrógeno -- anualmente ( Manahan, 1984).
- sustancias tóxicas de larga vida, como los metales pesados y sus compuestos, y pesticidas que son transportados hacia áreas en donde pueden acumularse
- partículas y aerosoles, incluyendo los sulfatos y nitratos ya mencionados que pueden influir en el balance de radiación de la atmósfera, y por lo tanto afectar el clima al actuar en contra del efecto invernadero
- gases que afecten la capa de ozono estratosférico

En las ciudades la contaminación del aire es en ocasiones aguda, pero incluso en las regiones más apartadas del mundo es posible detectar trazas de los contaminantes antropogénicos en el aire ( SMIC, 1975). Pero la perturbación humana es de hecho mayor, el hombre modifica la atmósfera, deliberadamente o no, en tres formas:

- añadiendo sustancias traza y/o cambiando su concentración, y también cambiando la concentración del vapor de agua en ella.
- cambiando las propiedades físicas y biológicas de la superficie subyacente
- liberando calor a la atmósfera

Los efectos de estas acciones son:

- cambios en el clima ( temperatura, nubosidad, vientos, humedad y precipitaciones) que pueden ser benéficos o adversos para el hombre y la Biósfera en general
- cambios en la concentración de ozono en la estratosfera, lo que induce cambios en la cantidad de luz UV incidente que alcanza la superficie, con los efectos biológicos que veremos más adelante
- exposición del hombre y la comunidad viviente planetaria a niveles dañinos de contaminación. En este caso la atmósfera es un portador ( como vimos para el océano), que transporta sustancias tóxicas de manera indiscriminada desde sus fuentes hasta cualquier región continental u oceánica del planeta

Aunque comúnmente se habla de tres grandes problemas ambientales ligados a la atmósfera:

- 1) acumulación de dióxido de carbono e incremento de la temperatura en la troposfera vía el efecto invernadero
- 2) lluvia ácida producto de la indiscriminada liberación de gases de la combustión de combustibles fósiles
- 3) destrucción o empobrecimiento de la capa protectora de ozono en la estratosfera ( Clarke y Palmer, 1983)

debemos añadir otros graves dilemas íntimamente relacionados - con la atmósfera y su perturbación:

- 4) sequías y desertificación
- 5) inundaciones
- 6) contaminación del aire por sustancias tóxicas y microorganismos patógenos

Antes de entrar de lleno al estudio de la capa de ozono, es necesario señalar las perturbaciones que a nivel de superficie -- ejerce el hombre afectando la atmósfera y el clima local, regional y/o global:

- alteraciones en la cubierta boscosa, irrigación o desertificación, despejado de la nieve en tierra y del hielo en el mar en rutas comerciales y/o militares, y la construcción de pueblos y ciudades, carreteras, aeropuertos; todos los cuales pueden cambiar la fracción de radiación solar reflejada y absorbida por la superficie continental
- modificaciones, incluyendo nuevamente la deforestación - y el drenado de pantanos y marismas, que reducen la evaporación de un área, alteran la distribución de la energía disponible usada para la evaporación y la convección, - cambiando el balance de energía en la superficie terrestre
- alteraciones al ciclo hidrológico, por ejemplo, a través del almacenamiento de agua (presas y otros), irrigación, prácticas de pastoreo o la desviación de ríos
- cambios en la potencia de fuentes y pozos naturales de sustancias traza (por ejemplo, los bosques juegan un importante papel en el ciclo del carbono, un cambio en la cubierta forestal afecta por lo tanto la concentración del dióxido de carbono atmosférico, ver capítulo III, Holdgate et al., 1982).



### La capa de ozono

En los años ochenta del siglo XIX el químico británico - W. N. Hartley descubrió que la forma triatómica del oxígeno,  $O_3$ , conocida como ozono, es el constituyente atmosférico que evita que la RUV excesivamente energética de longitudes de onda menores a 290 nanómetros ( $10^{-9}$  m, nm) alcance la superficie de la Tierra. En los pasados noventa años, y especialmente con el desarrollo de cohetes y satélites artificiales, se ha incrementado enormemente el conocimiento de este escudo natural de ozono. Para finales de los setenta del presente siglo, se sabía ya que la cantidad promedio de ozono en la atmósfera representa ligeramente menos de una millonésima del total atmosférico, que la concentración de ozono varía de día a día, de estación a estación y de año en año.

En promedio, el ozono es más abundante cerca de los polos que en el ecuador y en invierno más que en verano; a pesar de su baja concentración la preservación de la capa de ozono en su forma presente es muy importante para el hombre y la Biosfera (Rowland, 1979). El ozono, está presente en la atmósfera de la Tierra a todas las altitudes desde la superficie hasta - por lo menos 100 kilómetros.

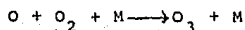
El volumen más importante de ozono reside en la estratosfera, con una concentración máxima de  $5 \times 10^{12}$  moléculas  $\times$   $cm^3$  a los 25 kilómetros de altura. En la mesosfera las densidades de ozono son muy bajas, y aunque en la troposfera son también - menores que en la estratosfera, el ozono juega un papel vital en la química atmosférica de esta región y afecta también el - balance de radiación térmica en la baja atmósfera (Cox et al., 1986).

El ozono es un alótropo triatómico del oxígeno, es un gas azul pálido, irritante, explosivo y tóxico incluso en bajas - concentraciones, es un gas inestable con un gran poder --

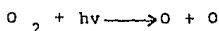
oxidante; sólo el oxígeno atómico, el flúor y el óxido de flúor lo sobrepasan en potencial redox. Debe su nombre a su característico olor picante, derivado del griego ozein que significa oler; algunas veces se describe como olor eléctrico, tal vez debido a que se produce durante las tormentas por las descargas eléctricas, se puede detectar instantáneamente en concentraciones que van de 0.2 a 0.05 ppm. Entre sus propiedades físicas se encuentran : densidad 1.5 veces mayor que la del oxígeno, en relación al aire 1.6; -- solubilidad a 0°C y 760 mm de mercurio: 0.494 ml/ 100 ml de agua; se condensa a - 111.9 °C formando un líquido azul oscuro, el que se congela a - 251.4 °C; se descompone rápidamente a temperaturas por encima de 100°C o a temperatura ambiente en presencia de catalizadores. Debido a su poder oxidante se usa para convertir olefinas en aldehídos, cetonas o ácido carboxílico; debido a que puede decolorar muchas sustancias se usa comercialmente como agente " blanqueador" para compuestos orgánicos, como es un potente germicida se usa para esterilizar agua potable así como para remover olores y sabores indeseables ( Waldbott, 1978; OPS, 1980).

Existe un proceso natural constante de creación y destrucción del ozono atmosférico, generado por la radiación solar-UV entrante ( Daniel, 1980). Hace más de medio siglo ( 1930) que el geofísico inglés Sydney Chapman diseñó una secuencia de reacciones químicas para explicar no sólo el proceso de formación y destrucción, sino también para calcular cuánto ozono había en la atmósfera ( Rowland, 1979). Este conjunto de reacciones Chapman se ha enriquecido a partir de los años sesenta con el incremento en los conocimientos sobre la dinámica del ozono en la atmósfera.

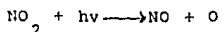
El ozono se forma por la combinación de oxígeno atómico y oxígeno molecular:



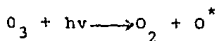
en donde M es un tercer cuerpo, principalmente nitrógeno, re-querido para retirar la energía liberada en la reacción, la que es rápidamente convertida en calor ( de esta forma se calienta la estratosfera en sentido vertical descendente ). A altitudes por encima de aproximadamente 20 km la producción de átomos de oxígeno atómico resulta casi exclusivamente de la fotodisociación del oxígeno molecular por radiación UV de corta longitud de onda ( - 243 nm ) según:



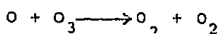
no obstante a menor altitud, y particularmente en la troposfera, es más importante la formación de oxígeno atómico a partir de la fotodisociación del dióxido de nitrógeno por radiación UV de larga longitud de onda:



el ozono a su vez puede ser dissociado por la radiación solar con longitudes de onda menores de 320 nm y en cierta forma por la luz visible:



\* este átomo de oxígeno está en estado de excitación electrónica y puede entrar en una reacción destructiva con el ozono de acuerdo con:



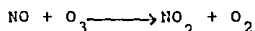
Hasta los cincuenta se pensó que esta última reacción - Chapman era la responsable de la pérdida de ozono en la atmósfera; en realidad las dos últimas reacciones sólo destruyen el 20% del ozono formado ( Nicolet, 1975; WMO, 1979; Cox et al., 1986).

En suma, de acuerdo con la teoría de Chapman el ozono es creado constantemente por la acción de la RUV del Sol sobre la atmósfera de la Tierra y es constantemente removido por su reacción con el oxígeno atómico. Tal proceso de estado-estable mantiene el ozono a un nivel de 1 molécula de ozono por un millón de moléculas de atmósfera, con estas reacciones químicas en base al oxígeno ( O, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ) Chapman presentó una explicación para la capa de ozono que permaneció cualitativa y cuantitativamente satisfactoria hasta la llegada de la era espacial.

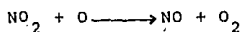
A principios de los años sesenta, la obtención de información cada vez más precisa sobre la intensidad de la RUV, de la cinética de las reacciones estudiadas en el laboratorio y de la medición directa del ozono estratosférico, indicaron que las reacciones propuestas por Chapman no lo explicaban todo. El problema era que había menos ozono en la atmósfera -- que el previsto por las reacciones. Estas funcionaban adecuadamente para explicar la formación del ozono a partir de la disociación del oxígeno molecular pero no explicaban de manera satisfactoria su remoción; al parecer había otras reacciones implicadas que aún no se habían reconocido, tal identificación del proceso de eliminación fue llevada a cabo en 1970 por el meteorólogo holandés Paul Crutzen, e implicaba una reacción de una clase completamente diferente: una reacción catalítica en cadena ( Rowland, 1979).

Mientras que los componentes principales de la atmósfera son el oxígeno y el nitrógeno moleculares, una fracción minúscula de átomos de ambos elementos está combinada como óxidos de nitrógeno, principalmente NO y NO<sub>2</sub>. A la vez que todos los principales constituyentes de la atmósfera poseen números iguales o equivalentes de electrones, los dos óxidos de nitrógeno pertenecen a la clase de moléculas de electrones impares conocidas como radicales libres (átomos o grupos de átomos con electrones impares producidos por la radiación -- electromagnética en la atmósfera superior; debido a su fuerte tendencia para aparearse son altamente reactivos, Manahan, - 1984) con 15 (NO) y 23 (NO<sub>2</sub>) electrones respectivamente.

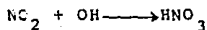
Debido a su elevada reactividad química el radical NO ataca muy eficientemente al ozono para producir oxígeno molecular y dióxido de nitrógeno:



el radical NO<sub>2</sub> reacciona entonces con el oxígeno atómico para formar otra vez NO más otra molécula de oxígeno molecular:



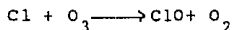
después que han ocurrido ambas reacciones, la molécula NO está presente aún aunque han sido removidos una molécula de ozono y un átomo de oxígeno. El sistema catalítico NO - NO<sub>2</sub>, - abreviado con frecuencia como NO<sub>x</sub>, puede remover cientos de miles de moléculas de ozono antes de que termine su reacción con otro radical libre (reacción de terminación de cadena) -- como en:



de hecho casi el 60% del ozono en la estratosfera es removido por este ciclo natural nitrogenado ( WMO, 1979).

En 1973 los físicos atmosféricos Ralph Cicerone y --- Richard Stolarski, de la Universidad de Michigan, identificaron otra cadena catalítica potencial de radicales libres -- que podría presentarse en la estratosfera, una que implica - átomos de cloro y su óxido, el monóxido de cloro ( Rowland, - 1979).

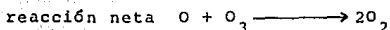
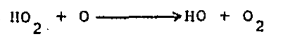
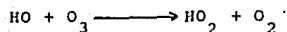
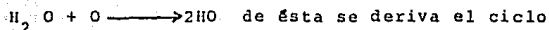
Las reacciones de la cadena  $\text{ClO}_x$  son muy similares a aquellas de la cadena  $\text{NO}_x$ . Los átomos de cloro liberados en la estratosfera, reaccionan con el ozono para formar - monóxido de cloro ( radical libre) el que a su vez reacciona con el oxígeno atómico para regenerar el átomo de cloro original, completando así un ciclo catalítico que destruye el ozono ( Molina et al., 1986) nuevamente y de acuerdo con las reacciones:



una molécula de ozono y un átomo de oxígeno son removidos -- por cada ciclo completo, mientras que el agente eliminador, el cloro, permanece en el sistema.

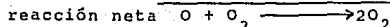
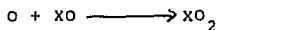
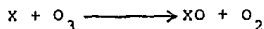
A estos dos grupos se han añadido recientemente radicales libres hidrogenados (  $\text{HO}_x$  ). Los efectos de  $\text{HO}_x$  sobre la destrucción del ozono son ambos, directos e indirectos; se cree que el control directo domina en la mesosfera y estratosfera superior, mientras que a bajas altitudes,  $\text{NO}_x$  y  $\text{ClO}_x$  son más importantes para determinar la pérdida de ozono; pero  $\text{HO}_x$  está cercanamente acoplado a estas dos familias e influye fuertemente sus eficiencias catalíticas ( Schiff et al., 1986).

Por efecto directo se destruye cerca del 10% del ozono formado, de acuerdo con las siguientes ecuaciones derivadas de la fotoquímica del agua:



nuevamente aquí una molécula de ozono y un oxígeno atómico son transformados en dos átomos de oxígeno molecular, mientras que el catalizador HO es renovado para repetir el proceso. En esta forma un radical HO puede ser responsable de la destrucción de muchas moléculas de ozono (WMO, 1979).

De tal manera que el ciclo catalítico que destruye el ozono puede ser descrito en términos generales como:



en donde X = H, HO, NO, Cl o Br (Watson, 1986).

Con la adición de los radicales libres, y sus reacciones con los elementos señalados, a los planteamientos originales de Chapman, podemos considerar ahora sí como satisfactoria, cualitativa y cuantitativamente hablando, la descripción básica del ciclo natural del ozono en la atmósfera. Sin embargo debemos tener en cuenta que las reacciones catalíticas proveen un medio por el cual pequeñas, o incluso muy pequeñas, concentraciones de radicales libres pueden ejercer -

un notable efecto multiplicador para la remoción del ozono atmosférico, de tal manera que cobran significado concentraciones tan pequeñas como una parte por mil millones.

En la atmósfera se encuentran en un balance dinámico - entre creación y destrucción 3,300 millones de TM de ozono; no obstante este volumen, la presencia de radicales libres pone en competencia química las actividades humanas que los generan frente a los procesos atmosféricos naturales --- (Rowland, 1979). Dentro de esta confrontación a escala masiva, la liberación humana de un millón de TM/año de determinado material antropogénico no parece ser de importancia, pero multiplicado por un factor de 1,000 o más a través de las -- reacciones catalíticas en cadena, es algo que no puede ser -- ignorado .

Destrucción de la capa de ozono por CFC y otras especies químicas. - en condiciones naturales, los principales catalizadores que destruyen el ozono se encuentran en el sistema del -- hidrógeno atmosférico y en el del nitrógeno atmosférico (radicales hidroxílico: HO, y óxido nítrico: NO, respectivamente).

El efecto de esos catalizadores naturales sobre la capa - de ozono consiste en mantener la cantidad de ozono estratosférico a su nivel mundial actual, relativamente constante. Sin embargo a pesar de la protección natural contra la contaminación que proporcionan la troposfera y la tropopausa, hay algunas actividades humanas que afectan el equilibrio del - ozono, al añadir a la estratosfera cantidades considerables de catalizadores destructores del ozono ( PNUMA, 1976)



Estas actividades comprenden dos niveles:

- liberación estratosférica
  - emisiones de aviones
  - emisiones de transbordadores norteamericanos
  - explosiones nucleares
- liberación troposférica
  - CFC y otros halocarbonos
  - óxido nitroso proveniente de:
    - fertilizantes nitrogenados
    - vegetación fijadora de nitrógeno
  - otros gases: metano y dióxido de carbono
  - agua

el problema fundamental que se deriva de estas fuentes, y su consecuente destrucción de la capa de ozono, radica en el posible mayor ingreso de RUV, de hecho se ha calculado que por cada 1% de agotamiento del ozono en la estratosfera hay un incremento de 2% en la cantidad de RUV que alcanzaría la superficie (Manahan, 1984), de tal manera que una destrucción teórica del 50%, duplicaría la cantidad de RUV que en condiciones evolutivas recibió la Biosfera durante los últimos 500 0-600 millones de años.

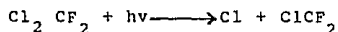
Las emisiones de aviones supersónicos comerciales o militares, que vuelan sobre la tropopausa, pueden provocar la introducción de radicales libres directamente en la estratosfera, mientras más alto vuela un avión más tiempo tardarán los gases que liberó (NO) en salir de la estratosfera, precipitándose hacia la superficie, y por lo tanto, más tiempo tendrán para catalizar la remoción del ozono.

De acuerdo con la Academia Nacional de Ciencias (1975), el uso de gases que contienen cloro en el transbordador espacial norteamericano puede producir una cierta disminución (0:1%) del ozono (PNUMA, 1976).

El daño provocado por las explosiones nucleares en la atmósfera, se refiere a que éstas se traducirían en la " perforación de un agujero" en la tropopausa, impulsando a la estratosfera óxidos de nitrógeno ( NO y NO<sub>2</sub>) y cloro con el consiguiente efecto perjudicial para el ozono. Se ha vaticinado por ello que uno de los múltiples efectos ambientales de una guerra nuclear, sería una brusca disminución de la concentración en la capa de ozono de un 20 a 70% durante cinco a diez años ( PNUMA, 1976).

Pero acaso el mayor peligro para la capa de ozono lo constituyen los halocarbonos ( compuestos de carbono que contienen cloro, bromo, iodo o flúor) y de entre ellos los llamados freones o clorofluorocarbonos, principalmente los CFC - 11 ó 12. " Toda la evidencia científica más confiable, señala el hecho de que la capa de ozono protectora de la Tierra, ha sido, está siendo y lo más importante, continuará siendo destruída por los CFC y otros productos químicos a no ser que la comunidad internacional haga algo para evitarlo" (Tolba, - 1983).

A fines de 1973, dos físico-químicos de la Universidad de California en Irvine, Mario Molina y Sherwood Rowland reconocieron que estos compuestos ampliamente utilizados como refrigerantes, impulsores de aerosoles y materia prima en la fabricación de espumas plásticas, se descomponían por medio de la radiación UV del sol a una altura de cerca de 30 kilómetros de acuerdo con la siguiente reacción:



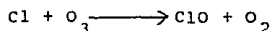
liberando cloro atómico, lo que inicia el ciclo catalítico -- ClO<sub>x</sub> de destrucción del ozono que ya hemos mencionado .

La producción mundial en 1976 era de 500 mil TM de F-12 y 300 mil de F-11, la producción de las veinte compañías - más grandes, excluyendo al bloque soviético y a la Argentina, fue en 1982 de 599 mil TM, se elevó en casi 8%, a 644 mil, en 1983 y se volvió a elevar en 8%, a 694 mil, en 1984; sólo 13% por debajo de la producción pico de 1974 que fue de 804 mil TM ( Gammon et al., 1986).

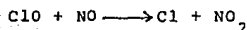
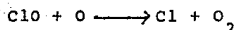
Su principal uso como gas impulsor de aerosoles para todo tipo de productos caseros y otros, los libera de inmediato a la atmósfera y aunque en refrigeración una vez introducidos al sistema del aparato permanecen largo tiempo ahí, al desechar los equipos no se reclama el gas que finalmente -- también se incorpora a la atmósfera.

La popularidad tecnológica de estos gases como impulsores, surge principalmente de su inercia química así como de su fácil conversión de líquidos a gases. Esta misma inercia que es tan ventajosa dentro de la lata de aerosol se evidencia - también en la atmósfera, ya que ambos freones F-11 y F-12 -- pueden sobrevivir largos períodos sin cambio, la permanencia atmosférica del F-11 se calcula en 75 (+ 32 ó - 17) años y - la del F-12 en 111 ( + 289 ó - 46 ) años (Gammon et al., 1986). Ambos son transparentes a la luz visible y a la RUV A y B, ambos son insolubles en agua y por lo tanto no son removidos por la lluvia, consecuentemente su destino último en la atmósfera de la Tierra es similar al del N<sub>2</sub>O natural, así suben a la estratosfera y son desintegrados eventualmente por la radiación solar UV en longitudes de onda de 190 a 220 nm.

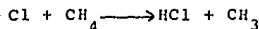
La fotodisociación de los CFC empieza con la liberación de un átomo de cloro, a 30 kilómetros de altitud este átomo reacciona casi exclusivamente con el ozono:



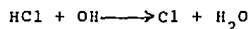
el ClO (monóxido de cloro) formado por esta reacción, puede reaccionar ya sea con el oxígeno atómico presente formado por la disociación del oxígeno molecular para liberar al cloro o con el NO con el mismo resultado de acuerdo con :



el ciclo total del cloro incluye también el tiempo que permanece combinado en la molécula estable HCl producto de:



de aquí es liberado nuevamente



regresando al ciclo ClO<sub>x</sub>. En promedio, cada átomo de cloro pasa a través del ciclo más de 10 mil veces antes de desaparecer eventualmente en la lluvia troposférica como ácido clorhídrico (WMO, 1979; Rowland, 1979; Manahan, 1984).

De acuerdo con diversos estudios ( PNUMA, 1976 ; Rowland, 1979; IRPTC, 1980; PNUMA, 1986) se calcula que hasta la fecha se habría perdido ya entre 0.7 y 1.6% del ozono de la estratosfera, de continuar el incremento anual de 1.5% en las emisiones de CFC, y teniendo en cuenta el aumento progresivo de las emisiones de óxido nitroso, metano y dióxido de carbono, se calcula conservadoramente que el promedio de ozono disminuirá en todo el mundo entre un 3 y un 10% en los próximos 20 a 70 años ( Sullivan, 1987). Aunque el cambio total es reducido, se supone que se producirá un fenómeno de redistribución del ozono en sentido vertical y horizontal que alterará la estructura de la estratosfera.

A 40 kilómetros sobre la superficie de la Tierra, el ozono se agotaría en un 30 a 70% y los cambios que sufriría la capa sobre los polos serían cuatro veces mayores que en el ecuador. Si la producción de CFC aumenta a razón de un 3% anual, lo que significa que se duplicaría en 25 años, el promedio de la tasa de agotamiento alcanzaría el 10% en el año 2050 para luego disminuir más rápidamente aún.

Los cálculos realizados a partir de las mediciones del ozono a distintas alturas, indican que entre 1970 y 1980 se ha producido ya un importante cambio en la estratosfera media que oscila entre 2 y 3%. En comparación con los datos de 1957 sobre la cantidad de ozono situado sobre la Antártida, los obtenidos en octubre de 1985 indican que se ha producido una disminución de aproximadamente el 40% y que el proceso se inició a partir del decenio de 1970 (Labitzke et al., 1986; - PNUMA, 1986).

El problema se agrava debido a que su gran estabilidad química, su resistencia a la degradación, su habilidad para permanecer en la atmósfera por largos períodos y la ausencia de cualquier otro medio de remoción, los conduce a ambos, F-11 y F-12, a la acumulación y la permanencia. Debido a ello se ha calculado que aun si se estableciera hoy una prohibición mundial sobre su producción y uso - lo que parece poco probable -, la inercia atmosférica de los que hasta hoy se han liberado empeoraría la situación por lo menos durante diez años, y seguirían produciéndose daños importantes en la capa por 50 a 200 años después de que se dejasen de liberar completamente al ambiente ( PNUMA, 1976; Rowland, 1979). De esta forma, de acuerdo con las últimas mediciones realizadas, se ha observado una tasa de crecimiento en la concentración de ambos CFC de 5% anual ( Gammon et al., 1986)

Por si todo ello no bastara, se ha descubierto la existencia de otros dos importantes halocarbonos clorados en la atmósfera: metil cloroformo ( $\text{CH}_3\text{Cl}_3$ ) y el tetracloruro de carbón ( $\text{C Cl}_4$ ) con concentraciones, incremento anual y tiempos de residencia de: 130 pptv, 125 pptv; 7% y 1%; 50 y 6.5 años respectivamente (Watson, 1986), que también están incidiendo de manera creciente sobre el ozono estratosférico.

Otros halocarbonos que pueden contribuir con concentraciones significativas de cloro y flúor son:

$\text{CH Cl}_3$	cloroformo, triclorometano
$\text{CH}_2 \text{Cl}_2$	cloruro de metileno, diclorometano
$\text{CH}_3 \text{Cl}$	cloruro de metilo
$\text{C}_2 \text{H Cl}_3$	tricloroetileno
$\text{C}_2 \text{Cl}_4$	tetracloroetileno
$\text{CH}_2 \text{Cl CH}_2 \text{C Cl}$	diclorodimetilmetano
$\text{CF}_4$ (CFC-14)	tetrafluorometano
$\text{C}_2\text{F}_6$ (CFC-116)	hexafluoroetano
$\text{SF}_6$	hexafloruro de azufre
$\text{C Cl F}_3$ (CFC-13)	clorotrifluorometano
$\text{CH Cl F}_2$ (CFC-22)	clorodifluorometano
$\text{C}_2 \text{Cl F}_5$ (CFC-115)	cloropentafluoroetano
$\text{C}_2 \text{Cl}_2 \text{F}_4$ (CFC-114)	diclorotetrafluoroetano
$\text{C}_2 \text{Cl}_3 \text{F}_3$ (CFC-113)	triclorotrifluoroetano

( Windholz, 1976)

De entre ellos hay especial preocupación por los CFC-22 y 113 debido a su larga vida en la estratosfera, sus crecientes aplicaciones industriales y sus concentraciones que aumentan rápidamente en la atmósfera.

En años recientes se han detectado también gases que contienen bromo, entre las dos especies químicas más abundantes:

$\text{CH}_3 \text{ Br}$	bromuro de metilo
$\text{CH Br}_3$	bromoformo, tribromometano

otros cuatro gases que contienen bromo se encuentran en menores concentraciones de alrededor de 1 a 4 pptv:

$\text{CH}_2 \text{ Br}_2$	dibromometano
$\text{CH Br}_2 \text{ Cl}$	dibromoclorometano
$\text{CH}_2 \text{ Br Cl}$	bromoclorometano
$\text{C}_2 \text{ H}_4 \text{ Br}_2$	dibromoetano

finalmente hay dos gases industriales presentes en la atmósfera con concentraciones de 1 pptv:

$\text{C Br Cl F}_2$	(BCF) halon 1211, CFC-12B1
$\text{C F}_3 \text{ Br}$	halon 1301, CFC-13B1

ambos utilizados como extinguidores de fuego.

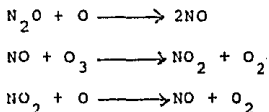
El bromo es un catalizador muy eficiente para la recombinación (destrucción) del ozono, se calcula que concentraciones de aproximadamente 100 pptv podrían ser de interés. Los niveles actuales son menores de 25 pptv pero algunas especies químicas se están incrementando rápidamente.

Los bromocarbonos de larga vida halon 1301 y halon 1211 han gozado de un mercado en expansión en extinguidores de -- fuego para alta tecnología, aviación y aplicaciones milita -- res. La concentración de halon 1211 en la atmósfera se ele -- va rápidamente, reportes del Artico, el Polo Sur y Cabo -- Meares en Oregon, Estados Unidos, indican tasas de incremento anual de entre 10 y 30% ( Gammon et al., 1986).

La producción anual de algunos de estos compuestos, expre -- sada en millones de kilogramos es como sigue:  $\text{C Cl}_4$  : 1150;  $\text{CH}_3\text{C Cl}_3$  : 545;  $\text{CH}_3\text{Cl}$  : c. 500; CFC-22: 206; CFC-113: 140 y - CFC-114: 13; y expresado en kilotonos ( 1 kiloton = 1000 TM): halon 1211: 5 y halon 1301: 7.5 ( Gammon et al., 1986)

Además de los halocarbonos otros gases están siendo libera -- dos a la atmósfera y constituyen una seria amenaza para la ca -- pa de ozono, acaso el más importante es el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

La aplicación masiva de fertilizantes nitrogenados a la -- agricultura en los países desarrollados, y en aquellos países en desarrollo en donde se ha implementado la revolución verde, y otras que demandan gran consumo de fertilizantes, puede in -- ducir la liberación de grandes volúmenes de óxido nitroso a la atmósfera, el cual entra al ciclo  $\text{NO}_x$  de la siguiente forma:



el óxido nitroso es liberado en el océano mundial y en los -- suelos por las bacterias desnitrificadoras.

---

\* más el liberado por organismos marinos y vegetación que se -- quema: 2 a 5 TM/año.



Algunas proyecciones indican que el óxido nitroso producido solamente como consecuencia de la agricultura, podría como mínimo duplicarse en los próximos cuarenta años. Si una fracción apreciable de ese nitrógeno penetrase en la estratosfera, la capa de ozono podría llegar a reducirse sólo por esta vía hasta en un 15% ( PNUMA, 1976; Rowland, 1979; WMO, 1979).

La concentración atmosférica de óxido nitroso a fines de 1985 era de 304 ppbv y se incrementa anualmente a una tasa de 0.25%, su permanencia atmosférica es de aproximadamente 150 años ( Watson, 1986). Otras especies químicas importantes son: metano, monóxido de carbono y el dióxido de carbono que aunque no es una especie fotoquímicamente activa en la estratosfera sí influye en la temperatura (Gammon et al., 1986).

Los efectos derivados de una disminución parcial o total de la ozonosfera son de dos tipos:

- efectos sobre el clima
- efectos sobre los organismos

El Clima.- El ozono juega un papel determinante en el balance radiativo de la atmósfera, particularmente de la estratosfera de la que es su fuente energética principal, merced a la fuerte absorción que ejerce sobre la RUV solar; debido a ello, y a que el ozono junto con el dióxido de carbono y el agua son los principales responsables de la opacidad atmosférica a las longitudes de onda larga, la temperatura de la estratosfera se mantiene principalmente por un balance entre la absorción de la radiación solar por el ozono y la emisión de la RIR atmosférica por el mismo ozono, el dióxido de carbono y el agua.

Es por ello que cualquier cambio en las tasas de calentamiento estratosférico tendrá una influencia directa sobre la distribución de la temperatura en esta zona y posiblemente en la -

troposfera, y estos cambios de temperatura ejercerán un efecto sobre los patrones de circulación atmosférica y por lo tanto sobre el tiempo local y sobre el clima regional o incluso global.

Una disminución o destrucción de la capa de ozono debida a su reacción con los productos de disociación de los CFC, -- óxido nitroso,  $\text{NO}_x$ , etc., resultará en una disminución en la temperatura de la estratosfera media y alta ( 30 a 60 km) y en un incremento de la temperatura en la estratosfera baja. Por este mismo camino, al reducirse la absorción en la estratosfera, alcanzará la superficie una mayor cantidad de energía solar, calentando la troposfera y reforzando el efecto invernadero del dióxido de carbono. Se ha mencionado también la posibilidad de que esta mayor cantidad de RUV solar que alcance la superficie incrementará el esmog fotoquímico, sobre todo en -- las grandes ciudades.

Los cálculos teóricos basados en una disminución de 7% en el ozono, debido solamente a los CFC ( con los valores de producción actual), indican que el enfriamiento a 40 kilómetros de altura podría ubicarse entre 4 y 8°C y el cambio en la estratosfera interior a 20 kilómetros de altura podría ser de 1°C al enfriamiento o al calentamiento. Otro impacto potencial sobre el clima de la superficie implica la existencia misma de los CFC, estos gases junto con el tetracloruro de carbono absorben fuertemente la RIR terrestre en la banda de longitudes entre 9,000 y 12,000 nm, la llamada región-ventana a través de la -- cual escapa gran parte de la energía reirradiada por la Tierra hacia el espacio exterior.

La acumulación de estas sustancias en la troposfera está interponiendo gradualmente, por lo tanto, una barrera al libre escape de calor desde la superficie. El dióxido de carbono, -

el vapor de agua y el mismo ozono, juegan un papel similar - aunque no en esta región transparente del espectro. Cálculos realizados por la NASA señalan que un incremento de los CFC - 11 y 12 de 4 ppbv en la troposfera, podrían elevar la temperatura superficial en casi 0.9°C. Este efecto de calentamiento es del mismo orden de magnitud que el esperado debido al incremento producido por el dióxido de carbono liberado en la combustión de combustibles fósiles; por ello no es de extrañar que en la Conferencia de Villach, Austria, en octubre de 1985, los científicos concluyeron que la cuestión no es ya si se producirá o no un calentamiento del clima de la Tierra sino "cómo podemos adaptarnos a esa tendencia inexorable" ( PNUMA, 1986).

Ahora bien, el calentamiento de la superficie podría producir un incremento en el vapor de agua estratosférico, lo que a su vez incidiría sobre la química de esta región. En conclusión, la disminución de la concentración de ozono en la estratosfera y la acumulación de CFC en la troposfera, pueden inducir cambios en el clima de la Tierra ( IES, 1979; Munn, 1979; WMO, 1979; -- UNEP, 1984).

Los Organismos. - el espectro de la RUV puede dividirse en tres componentes principales que inducen efectos biológicos significativamente diferentes:

- UV - A, con longitudes de onda de 400 a 320 nm ( sinónimos: RUV de onda larga, RUV cercana, luz negra)
- UV - B, de 320 a 280 nm ( RUV media, radiación " bronceadora")
- UV - C, de 280 a 200 nm ( RUV de onda corta, RUV lejana, radiación germicida).

las longitudes de onda por debajo de 200 nm son de escaso significado biológico, ya que la radiación en esta región ( vacío RUV) es absorbida en el aire en rutas muy cortas, de hecho, --

la RUV menor de 180 nm no alcanza la estratosfera; de 180 a 240 nm es absorbida primariamente por el oxígeno molecular-para formar ozono y no alcanza la estratosfera inferior; de 240 a 290 nm es absorbida por el ozono y, virtualmente ninguna RUV menor de 288 nm alcanza la superficie de la Tierra; de 290 a 320 nm la radiación es parcialmente absorbida por el ozono, y la porción que alcanza la superficie es la principal responsable del bronceado, el cáncer de la piel en los humanos, y de otros efectos biológicos a los organismos de la Biósfera; finalmente de 320 a 400 nm la radiación es transmitida en su mayoría a la superficie y puede ser importante en la formación del esmog fotoquímico ( Boville, 1979; WHO, 1979b).

De tal manera que la mayor parte de los efectos biológicos conocidos de la radiación solar están confinados al extremo corto del espectro solar terrestre, que implica no más del 1.5 % del total de la energía solar que alcanza al planeta ( WHO, 1979b).

En términos generales, la RUV-B puede matar directamente microorganismos y destruir células aisladas en plantas y animales, las estructuras moleculares de las proteínas y de los ácidos nucleicos, que son los elementos que integran los tejidos vegetales y animales y a los que corresponde, en conjunto, la mayor parte de su peso seco, son dañados por la RUV - en forma tal que no pueden desempeñar ya sus funciones biológicas en forma adecuada. Las proteínas son sumamente sensibles a la RUV de 280 nm y los ácidos nucleicos a las de 260nm, pero en ambos casos, la radiación próxima a esas longitudes - de onda extremas, producen daños similares aunque menos importantes.

En la actualidad, y desde hace millones de años, la capa de ozono impide totalmente el ingreso a nivel superficie de la RUV menor de 290 nm, de ahí que la continuación de esa protección estratosférica es evidentemente decisiva para la vida en el planeta.

A través del largo proceso evolutivo, los organismos -- han desarrollado mecanismos para soportar las cantidades de RUV que llegan a la superficie del planeta en condiciones -- normales, es decir, bajo la protección de la ozonósfera, para ello utilizan cuatro medios principales:

- cubiertas y pigmentación protectoras que filtran la RUV
- adaptaciones de comportamiento para evitar la luz solar
- mecanismos de fotorreactivación o fotoprotectores
- mecanismos de reparación en la oscuridad

de esta forma, la vida en la Tierra se ha adaptado a un grado relativamente alto de variabilidad a corto plazo de la exposición a la radiación UV ( de un año a otro se producen -- fluctuaciones de entre 10 y 20% en la RUV a nivel del suelo), pero todo aumento importante y sostenido de esa radiación podría traducirse en una perturbación del actual equilibrio vital ( PNUMA, 1976).

Daños al ADN. - el ácido desoxirribonucleico es una de las más importantes moléculas blanco (objetivo) para efectos fotobiológicos; el ADN lo podemos representar como una hélice de doble banda formada de bases (purinas y pirimidinas) unidas por -- grupos de azúcar y fosfatos. Si consideramos las características de la macromolécula ADN y la universalidad de la estructura -- similar de los organismos vivos en la cual el ADN representa la herencia genética, podemos anticipar que cualquier lesión

que sufra este portador, aunque ligera, puede tener serias repercusiones. Una lesión en el genoma de una célula es siempre seria, debido a que en general, el genoma existe sólo en una copia en la célula respectiva mientras que una lesión en una proteína, aún de la misma magnitud, puede no ser detectada debido a que hay muchas copias de las proteínas, esto es válido también para el ARN.

El efecto de la RUV es sobre todo destructivo, los cambios más comunes producidos en el ADN son daños a las bases y a las cadenas polinucleótidas. El daño a las bases puede ser unimolecular o bimolecular; se ha observado que las bases pirimidinas son diez veces más sensibles a la RUV que las bases purinas. Las reacciones bimoleculares son muy numerosas, pueden presentarse entre dos bases, o entre una base y otra molécula, el efecto más importante es la formación de compuestos díméricos y de hidratos de pirimidina (Halldal, 1979); particularmente dímeros de la timina, el dímero provoca un enrollamiento de la estructura helicoidal secundaria del ADN y causa una desnaturalización local.

Nuevos métodos bioquímicos han hecho posible la detección de dímeros in vivo en todos los tipos de células irradiadas bajo estudio. Se ha mostrado también que el número de dímeros es proporcional a la dosis de RUV y varía con la longitud de onda presentando su punto culminante en 280 nm. Aunque se ha podido mostrar que la producción de dímeros está relacionada directamente con los efectos dañinos de la RUV sobre la materia biológica (el protoplasma vivo), ésta no es la única lesión seria producida al ADN por la RUV (WHO, 1979b).

Los dímeros se producen normalmente por la RUV-B pero también se pueden formar después de la exposición a la RUV-A o posterior a reacciones de fotosensibilización. También se han observado cruzamientos entre bases nitrogenadas del ADN y proteínas después de exposiciones a dosis muy elevadas de RUV-A.

Otro tipo de lesión que puede ocurrirle al ADN es el rompimiento de las cadenas polinucleótidas, también se han observado rompimientos en cadenas péptidas, en enlaces o en cruzamientos. Y se han presentado daños a las estructuras secundarias o terciarias de las proteínas.

La distorsión producida en la molécula de ADN evita -- que lleve a cabo sus funciones, por ejemplo, se pueden bloquear la transcripción y replicación, puede provocar muerte celular, recombinación genética, mutagénesis o incluso carcinogénesis. También se ha observado la inhibición de la síntesis del ADN por la RUV y el bloqueo de síntesis y transcripción del ARN ( WHO, 1979b).

La efectividad relativa ( o acción espectral) de la RUV-B para alterar el ADN, se incrementa por un factor de casi 15,000 al disminuir la longitud de onda que se recibe desde 320 a 220 nm, de tal forma, que las longitudes de onda medias de la banda ( cerca de 205 nm) son las que más contribuyen a los efectos biológicos (Boville, 1979). Ello se debe a lo siguiente, hemos señalado ya que los cálculos indican un factor de amplificación del ingreso de la RUV-B por destrucción del ozono de aproximadamente 2.0, es decir, que con una pérdida en la ozonósfera de 10%, alcanzaría la superficie terrestre un 20% de RUV-B ; ahora bien, respecto al daño potencial al ADN, el incremento es aún mayor que el incremento en RUV-B, debido a que es proporcionalmente más grande a longitudes de onda menores. Así la efectividad relativa de un quantum para alterar ADN es aproximadamente:

a	320 nm	0.03
"	315 nm	0.1
"	310 nm	0.6
"	305 nm	2.6
"	300 nm	15.0
"	295 nm	60.0
"	290 nm	160.0

esto define el espectro de acción de la RUV-B para el ADN, a 265 nm se alcanza un valor pico de 1000 después de lo cual la sensibilidad disminuye ( WMO, 1979).

Daños a las plantas.- la preocupación mayor hasta ahora ha sido el posible daño a los cultivos comerciales, agrícolas y forestales, debido a la creciente demanda de alimentos y madera; la preocupación se deriva del hecho de que las plantas han evolucionado para ser colectores eficientes de la radiación solar, la que se requiere para una fotosíntesis efectiva. La mayor parte de los efectos en las plantas son perjudiciales, no obstante, el incremento en la RUV-B que se pueda derivar de una reducción moderada de las concentraciones estratosféricas de ozono pudiera provocar efectos muy sutiles en las plantas.

Hasta hoy, no se han observado efectos dañinos en las plantas en sus habitats naturales, que pudieran ser explicados por la influencia de la RUV-B. Los pocos efectos dañinos causados por UV en algunas plantas específicas, pudieran estar relacionados ya sea con efectos de tensión ambiental diferentes a la UV o a mecanismos de protección en contra del daño que la radiación pueda causar.

En el primer caso tenemos una situación de sinergia, la cual debe considerarse constante y crecientemente en torno al estudio del impacto biológico, ya que ahí en donde un solo contaminante ( trátase de RUV o de mercurio o de DDT), no actúe por sí mismo, su potencial puede verse reforzado o liberado por la presencia de otro, o bien, de stress fisiológico en el organismo de referencia. Así se ha encontrado crecimiento anormal debido a la RUV en plantas silvestres y --



cultivadas bajo condiciones extremas de crecimiento. La RUV se vuelve particularmente activa en cuanto a daño biológico, al interactuar con bajas temperaturas, condiciones de sequía o agotamiento de nutrientes (Caldwell y Wellman, 1979).

En cuanto a mecanismos de protección, se ha observado que las plantas son capaces de protegerse a sí mismas en base a:

- movimiento de órganos (por ejemplo hojas), u organelos celulares para evitar la radiación intensa
- por cubiertas superficiales (v.gr. cutículas), paredes celulares, capas de células muertas
- por pigmentos acumulados en las capas celulares del exterior (epidermis)

además de los mecanismos de reparación molecular presentes en todos los organismos (Caldwell y Wellman, 1979).

Para evaluar posibles daños a la vegetación se han realizado experimentos de laboratorio en cámaras de crecimiento, invernaderos e incluso en el campo, bajo condiciones de RUV-B naturales y con radiación incrementada hasta un valor de 245 nm; los efectos típicos observados fueron:

- reducción en la capacidad fotosintética
- fuerte acumulación de pigmentos fenólicos o flavonoides, como las antocianinas
- pérdida de clorofila por destrucción enzimática indirecta
- presencia de mutaciones
- pérdida de hormonas del crecimiento
- inhibición de la germinación de semillas

- perturbaciones en la toma y transporte de iones
- crecimiento reducido e irregular
- daño a la estructura superficial de las hojas
- deterioro de las funciones fisiológicas y de la productividad

(Caldwell y Wellman, 1979; UNEP, 1984).

Los niveles de exposición a RUV incrementada ( en exceso de la natural) a los cuales empiezan a presentarse efectos de le tóxicos, dependen de la sensibilidad particular de cada especie, y van desde los valores naturales hasta un incremento de 50% en la RUV-B ( 25% de destrucción en la ozonosfera). Las pruebas realizadas con más de 100 especies y variedades en ambientes controlados de cámaras de crecimiento, indican que aproximadamente el 20% ya son sensibles a las dosis naturales diarias de RUV-B a latitudes de 30° norte; el 60% mostraron una sensibilidad intermedia, mientras que el 20% fueron resistentes a dosis incluso cuatro veces mayores que lo normal ( UNEP, 1984).

En general se ha observado que las plantas son particularmente sensibles durante los primeros estadios de crecimiento y desarrollo de las plántulas en contraste con una mayor resistencia en los estados maduros ( Caldwell y Wellman, 1979). También se han detectado cambios en el comportamiento competitivo de las plantas, dependiendo de la composición de la comunidad durante varias estaciones de crecimiento bajo condiciones de RUV incrementada ( UNEP, 1984).

Efectos en el fitoplancton y organismos marinos. - al penetrar la luz solar en el agua, se producen cambios espectrales drásticos, se observan grandes variaciones en las masas oceánicas de diferentes tipos, y el efecto en ríos y lagos puede ser mayor de lo que se observa en el mar.

Todos los tipos de agua muestran una elevada atenuación de la radiación roja e infrarroja, a profundidades mayores - de 10 metros sólo se detecta pequeña radiación de longitud - de onda de más de 650 nm. Las variaciones en atenuación difieren grandemente en la región espectral del UV cercano con diferentes tipos de agua (Halldal, 1979). Se ha medido RUV-B inductora de efectos biológicos a profundidades de más de 30 metros en aguas claras y a más de cinco metros en aguas turbias ( UNEP, 1984).

En un estudio realizado en los setenta, el 75% de la --- RUV-B de 318.5 nm llegaba a 1 metro de profundidad en aguas naturales frente a la costa de Córcega, y el 43% de la RUV-A de 321 nm frente a las costas de Bretaña (PNUMA, 1976).

La composición pigmentaria de las algas planctónicas comprende : clorofilas, carotenoides y ficobilinas, los tres - muestran una menor absorción en la región UV del espectro -- que a los niveles de luz moderada naturales, la fotoestabilidad de estos grupos de cromóforos es muy elevada, la RUV cer cana, hasta los 320 nm, tiene normalmente un efecto destruc tivo pequeño de estos pigmentos fotosintéticos, pero hacia - los 300 nm las proteínas empiezan a absorber RUV y son fácil mente destruidas.

Ahora bien, ya que las proteínas son parte integral de to dos los pigmentos fotosintéticos, debido a que estos cro moforos proteicos en el aparato fotosintético están arreglados en membranas biológicas, y como las enzimas están implicadas en - numerosas reacciones fotoquímicas y bioquímicas durante la fo tosíntesis, el daño a las proteínas puede ser destructivo pa ra la fotosíntesis en diversas formas ( Halldal, 1979).

Experimentos realizados con diatomeas marinas han mostrado altas reducciones en la biomasa, proteínas y pigmentos a intensidades de RUV-B equivalentes a sólo un 10% de reducción de la capa de ozono, estudios de laboratorio mostraron que la RUV-B deprime la productividad en diatomeas y otros fitoplanctontes (UNEP, 1984). En experimentos realizados frente a las costas de Africa, se encontró que al aumentar la RUV-B se inhibía la fotosíntesis del plancton hasta en un 60% -- (PNUMA, 1976). Otros ensayos han demostrado la inhibición fotosintética en el alga verde Ulva por abajo de 300 nm (Halldal, 1979).

Además del daño al sistema fotosintético, Halldal (1979) ha encontrado daño al aparato locomotor de importantes grupos de flagelados (dinoflagelados y cocolitofóridos, entre otros). Los flagelos de estos organismos consisten principalmente de proteínas y el efecto de la RUV-B sobre esta estructura de movimiento comprende tres etapas:

- en la primera, la UV lejana tiene un efecto estimulante y los flagelados dirigen su nado de acuerdo a la dirección de la radiación, es decir que el alga responde fototácticamente a la radiación; si ésta es suave y el flagelado se retira de la misma después de un tiempo, no hay efecto observable
- al incrementarse la dosis de UV lejana, los flagelados dejan de moverse, evidentemente debido a la desnaturación de las proteínas
- la tercera etapa ocurre cuando las células se aproximan a la división celular, lo que tiene lugar de dos a cuatro días después, entonces se observa que las células mueren debido al daño provocado al ADN por la formación de dímeros de timina (Halldal, 1979)

Además de estos daños al fitoplancton gran número de organismos marinos sensibles a estos niveles de RUV viven en los 20 metros superiores del océano. Estudios experimentales con RUV-B incrementada muestran efectos dañinos en huevos, larvas y juveniles de peces; en camarones, cangrejos, zooplankton y fitoplancton los efectos dañinos incluyen: disminución en el crecimiento, la sobrevivencia y otras funciones (UNEP, 1984).

Asimismo estudios efectuados con más de 60 microorganismos acuáticos, protozoa, algas y pequeños invertebrados indicaron que la mayoría son sensibles a los niveles normales de la RUV-B incidente en la superficie del mar (UNEP, 1984).

Efectos en animales. - los efectos del aumento de la radiación UV-B en los animales distintos del hombre han merecido escasa atención, ya que generalmente se ha supuesto que esa radiación es absorbida por el pelo, las plumas, las escamas, los caparzones y los pigmentos normales de la piel que protegen órganos críticos de muchos animales de la RUV-B. Probablemente esos factores seguirán proporcionando cierto grado de protección, pero algunos animales pueden encontrarse ya en su límite de tolerancia a la RUV-B y nuevos aumentos podrían producir efectos dañinos en animales que hasta ahora no los han sufrido (PNUMA, 1976). Algunos experimentos demostraron que en ciertas especies dosis suficientemente grandes de RUV-B administradas en ciertas etapas del crecimiento podrían conducir al desarrollo de anomalías que impedirían la habilidad competitiva de los animales.

En latitudes donde prevalecen largos períodos de elevada RUV solar natural se han atribuido ya tres efectos en animales de granja:

- cáncer en los ojos, una forma de carcinoma ocular - del ganado
- ojos rosa, infección bacteriana del ganado que es - agravada por la UV
- fotosensibilización, una reacción compleja que resul - ta en hipersensibilización después de la ingestión de ciertos agentes sensibilizantes ( que se encuentran con frecuencia en las plantas) junto con la exposi - ción a la RUV-B

También se han encontrado carcinomas en cabras, ovejas y caballos, y en la mayoría de los casos se localizan en partes -- del cuerpo que carecen de melanina protectora como en los párpados y los genitales ( Munn, 1979).

A diferencia de los seres humanos, la mayoría de los animales no se exponen a la plena luz solar si no cuentan con alguna forma de impedir que excesivas cantidades de esa luz alcancen sus tejidos sensibles. La mayoría de las especies marinas se esconden durante el día en grietas de la roca, escondrijos o aguas profundas, saliendo de noche a alimentarse en la superficie del mar o en las costas para ramonear las algas en las rocas. La mayoría de los animales salvajes terrestres son de hábitos nocturnos o se mantienen en la sombra de los bosques durante el día (PNUMA, 1976). En cambio los animales de granja principalmente el ganado: vacuno, caballar, lanar, etc., es obligado por el hombre a exponerse constantemente a la RUV-B, durante el pastoreo o su utilización como animales de tiro o carga.

En cuanto a los insectos sólo se han reportado hasta la fecha:

- sensibilidad en larvas de algunas especies expuestas a prolongadas irradiaciones con dosis elevadas (Munn, 1979).

- modificación del reloj biológico en insectos y otros artrópodos ( WHO, 1979b)

Efectos en el hombre.- los efectos de la RUV en el hombre son de dos tipos: benéficos y perjudiciales en diferentes niveles.

La RUV produce un cierto número de efectos sistémicos:

- incrementa la capacidad del tono del sistema adreno-simpático
- mejora la actividad enzimática en mitocondrias y microsomas
- mejora el nivel de inmunidad no específica
- incrementa la secreción de un cierto número de hormonas ( WHO, 1979b).

Se ha reportado reducción de la presión sanguínea diastólica y sistólica antes de la aparición del " bronceado" e incluso se pueden reducir con exposiciones tan leves que no desarrollan un eritema visible. La presión sanguínea cae gradualmente durante 24 horas después de la exposición al sol y puede mantenerse baja por varios días.

Otros cambios que pueden atribuirse a la exposición a la RUV incluyen:

- reducción del colesterol en el suero e incremento en la curva de tolerancia a la glucosa
- disminución de tiroxina en el suero  
( Kameneckaja y Nitrofanova, 1975, citados en WHO, -- 1979b).

Un dato muy importante es aquél que señala que la exposición a la RUV favorece la tolerancia del cuerpo a sustancias químicas tales como nitritos, benzopireno, etc., que producen --

efectos tóxicos, alergénicos y carcinógenos. También se ha observado que un tratamiento profiláctico con RUV previo a la inmunización específica, reduce el riesgo de alergias a la vacunación e incrementa la efectividad de la inmunización (WHO, 1979b).

En poblaciones que viven en áreas cercanas al círculo polar ártico, en donde son bajos los niveles de RUV, se ha determinado como dañino para el organismo humano su falta de exposición a la radiación. Numerosas investigaciones señalan que esta carencia de exposición puede conducir al desarrollo de una situación patológica conocida como "deficiencia de RUV" o "hambre de luz". La manifestación más frecuente de esta enfermedad es una perturbación del metabolismo mineral y al desarrollo de una deficiencia de vitamina D y de infección por rickettsias en los niños, acompañada de una aguda reducción en la capacidad defensiva (inmune) del organismo, -- haciéndolo particularmente vulnerable a factores ambientales desfavorables.

El único efecto benéfico completamente establecido de la RUV sobre la piel humana es la conversión del 7- dehidro -- colesterol en vitamina D<sub>3</sub>. Se ha observado que la prolongada limitación o ausencia de exposición de la piel humana a la RUV en cualquier latitud, vuelve imposible la activación natural de la vitamina D, lo que es un factor importante en la aparición de "avitaminosis crónica latente de vitamina D" y se refleja además en infección por rickettsias y en caries dental entre los niños y osteomalacia en los adultos (WHO, - 1979b). En la era anterior al desarrollo de antibióticos, -- se trataban diversas formas de tuberculosis e infecciones -- cutáneas mediante fototerapia (exposición a la luz solar). Hoy en día, el tratamiento con RUV en medicina está confinado



a enfermedades de la piel como : psoriasis, acné y dermatitis atópica. Se ha reportado también que la RUV, administrada - en dosis gradualmente crecientes, ha sido de utilidad en el - tratamiento de ambas, pulmonía crónica y enfermedades reumá - ticas en la niñez ( WHO, 1979b).

Los efectos deletéreos de la RUV son de dos tipos: agudos y crónicos. Entre los primeros está el eritema solar o más - comúnmente llamado " quemadura del sol", esta consiste en su forma más leve en un enrojecimiento de la piel que aparece - de una a seis horas después de la exposición y desaparece -- gradualmente en una a tres días. En su forma más severa, el - eritema solar causa inflamación, ampollamiento y pérdida de la piel ( por despellejamiento), seguido de un bronceado que aparece de dos a tres días después de la exposición. Este - bronceado es uno de los principales mecanismos defensivos de la piel en contra de un daño ulterior por RUV, se produce por un incremento en la pigmentación por melanina inducido direc - tamente por la radiación UV, o por las hormonas adrenocortico - trópicas estimulantes de la formación de melanocitos ( Urbach et al., 1979; WHO, 1979b).

La máxima sensibilidad de la piel al bronceado y la quema - dura solar, corresponde a una longitud de onda de aproximada - mente 297 nm. Sin embargo, la longitud de onda más responsa - ble del bronceado, cuando el sol se encuentra a una elevación de 60°, es la de 307.5 nm . Si se redujera la cantidad del - ozono estratosférico en un 50%, esta longitud de efectividad máxima disminuiría en unos 5 nm - aproximándose mucho más a aquella a la que el hombre es más sensible - y las repercu - siones totales se duplicarían con creces. En caso de cambios meno - res, como los que tienen lugar hoy en día, la probabilidad de quemaduras solares en el hombre aumenta en un 2%, aproximada - mente, por cada 1% de reducción del ozono ( PNUMA, 1976).

Aunque la RUV es más energética que la porción visible - del espectro, no es detectada por los receptores visuales de los mamíferos, incluyendo al hombre (contrariamente a muchas especies de insectos que incluso muestran fototropismo a la - RUV-B). Por lo tanto, la exposición a la radiación puede pro vocar daño ocular antes que el receptor se percate de ello. Se han reportado muchos casos de queratitis de la córnea y de cataratas de los lentes cristalinos debidos a la exposición - a la RUV producida por arcos de soldadura, lámparas de pulso- de alta presión y a la reflexión de la radiación solar en la nieve y la arena.

En la región de la RUV solar que alcanza la superficie, - que es la más efectiva biológicamente hablando (290-320 nm, UV-B), el espectro de acción para el desarrollo de la foto - queratitis es casi idéntico al del eritema cutáneo. Por lo - tanto, todas las conclusiones respecto al peligro creciente de un cambio en esta banda de la UV que se aplican a los efec - tos agudos sobre la piel, deben aplicarse igualmente a los -- cjos (Urbach et al., 1979).

Dentro de los efectos crónicos más importantes desde el - punto de vista clínico y psicológico está la elastosis solar c envejecimiento, producto de cambios actínicos o solares en - la piel humana (piel de granjero, piel de marinero, etc.), estos se muestran por atrofia, surgimiento de pecas con hiper e hipopigmentación, vasos sanguíneos dilatados y una decolora ción amarillenta debida a incrementos en el tejido colágeno - anormalmente elástico; la piel aparece seca, áspera, con apa riencia lustrosa, laxa y arrugada (Urbach et al., 1979; WHO 1979b).

La degeneración del colágeno en la dermis es independiente de la edad y está determinada simplemente por la acumulación de daño por RUV. Ello depende del grado y frecuencia de la exposición y de la amplitud de la protección natural y artificial proporcionada al individuo por el engrosamiento del stratum corneum de los pigmentos melanínicos, de la vestimenta y de los productos químicos filtradores empleados - (cremas, lociones, etc.).

Este envejecimiento "prematureo" se presenta más en las zonas del cuerpo expuestas que en las protegidas, y en personas de piel blanca (carentes de melanina) que en las de color oscuro; generalmente también se presenta más en las regiones templadas frías que en las poblaciones de zona tropical y es producto aparente de la exposición crónica al sol (WHO, 1979b).

Al parecer, el mismo espectro de radiación responsable de las quemaduras solares es también responsable del cáncer en la piel. La evidencia clásica que sostiene el papel de la luz solar, y particularmente de la RUV-B como fuente original del cáncer cutáneo en las personas, fue compilada inicialmente por H. F. Elum en 1950 y 1959, revisada por Urbach et al. en 1972 y más recientemente por Emmett en 1974 y -- Vasiliev en el mismo año (Urbach et al., 1979). Los argumentos brevemente expuestos son:

- los cánceres cutáneos superficiales ocurren más frecuentemente en la cabeza, cuello, brazos y manos, es decir aquellas partes del cuerpo más comúnmente expuestas a la luz solar
- los individuos pigmentados, que "se queman con el sol" mucho menos fácilmente que los de piel blanca, presentan tasas de cáncer cutáneo menores y cuando ello ocurre afecta áreas menos frecuentemente expuestas a la luz del sol

- entre los individuos de piel blanca se presenta una mayor incidencia de cáncer cutáneo entre los que pasan la mayor parte del tiempo al sol que los que laboran en interiores
- el cáncer de la piel es más comun en individuos - que viven en áreas de mayor insolación ( por ejemplo pobladores de Queensland, Australia)
- las características hereditarias ( albinismo o xero-derma pigmentosum) que producen mayor sensibilidad de la piel a los efectos de la radiación solar UV -- están asociadas con un incremento marcado en y un -- desarrollo prematuro de el cáncer en la piel
- los cánceres cutáneos superficiales, particularmente los carcinomas celulares escamosos, ocurren predominantemente en aquellas áreas del cuerpo que reciben la máxima cantidad de radiación solar UV y en donde son más severos los cambios histológicos debidos a -- daño crónico por UV
- el cáncer en la piel, puede producirse fácilmente sobre la piel de ratas y ratones con dosis repetidas - de RUV, y el límite superior de la radiación más efectiva productora de cáncer es de c. 320 nm, es decir - el intervalo espectral que produce eritema solar en - los seres humanos

Aunque estos argumentos no constituyen una prueba absoluta, - hay buena evidencia epidemiológica cualitativa que sostiene - el papel de la luz solar en tres tipos de cáncer cutáneo: car- cinomas celular basal y celular escamoso, y melanomas malig- nos ( Urbach et al., 1979).

El carcinoma celular basal es el cáncer de la piel más común entre los humanos que se presenta en gentes de piel blanca. Se origina en las células basales epidérmicas, adnexales, o ambas y frecuentemente se presenta como un nódulo brillante, de lento crecimiento, compuesto de masas de células con núcleo oscuro que simulan las células basales epidermales. Estas lesiones son de invasión localizada pero raramente sufren metástasis. Son muy raras en personas de piel pigmentada.

El carcinoma celular escamoso es el segundo más común de la piel en personas blancas y se encuentra con mayor frecuencia que el basal en personas de piel pigmentada. Generalmente se manifiesta como un tumor queratótico compuesto de masas de células que simulan las células epidérmicas y tienden a formar queratina. A veces sufren metástasis y pueden ser fatales. Además de la RUV, el carcinoma celular escamoso puede formarse a causa de especies químicas carcinógenas y radiaciones -- ionizantes.

La incidencia anual de estos cánceres es muy elevada en los Estados Unidos: 165/100 mil, se sabe que, aproximadamente, se presentan 300 mil casos nuevos cada año sólo de estos tipos de cáncer, es decir que cerca del 40% de todos los cánceres lo son de la piel. En la URSS los valores promedio van del 20% en el sur al 12% en el norte; en Oxford, Inglaterra, 12% de todos los cánceres masculinos son cutáneos, 10% en Cuba y 1% en la Prefectura de Miyal en Japón (Urbach et al., 1979).

Debido a la asociación entre la incidencia de cáncer en la piel y la RUV efectiva, cualquier incremento en la RUV se reflejará en un aumento de la incidencia de cáncer cutáneo. Se han propuesto diversos modelos que explican los efectos potenciales de la reducción de la ozonósfera, todos ellos parten de tres supuestos fundamentales:

- una disminución del ozono estratosférico resultará en un incremento en la RUV con longitudes de onda menores de c. 320 nm
- un incremento en la RUV con longitudes de onda menores de 320 nm resultará en una incidencia creciente de cáncer en la piel en poblaciones humanas susceptibles
- el incremento observado en la incidencia de cáncer en la piel con latitudes decrecientes es debido a - diversos factores interactuantes, entre estos están:
  - espesor de la capa de ozono
  - condiciones atmosféricas locales
  - antecedentes genéticos de la población
  - tipo, duración y clase de la exposición al exterior

existen también factores inespecíficos como los agentes químicos.

En promedio, de acuerdo con estos modelos, el resultado de la reducción en el espesor de la capa de ozono podría ser la aparición de cáncer en la piel en personas susceptibles más jóvenes (Urbach. et al., 1979).

Recientemente se ha calculado que por cada 1% de incremento en la irradiación efectiva UV-B se incrementará de 1 a 2.5% la incidencia de carcinoma basal y de 2 a 5% la de carcinoma escamoso (UNEP, 1984).

El melanoma maligno, o simplemente melanoma, es un tumor maligno de origen melanocítico (melanocitos son las células animales que producen o contienen cuerpos oscuros portadores de la melanina, biocromo o pigmento biológico oscuro).

Los melanomas surgen en áreas de la piel, membranas mucosas, ojos y sistema nervioso central, donde hay células pigmentadas. Aparecen en tamaños, formas y matices de color diferente (generalmente pigmentados) y tienen una propensión variable a la invasión y a la metástasis. Así el melanoma puede ser un tumor extraordinariamente maligno que se extiende con tanta rapidez que es fatal al cabo de pocos meses de su reconocimiento, la mayor parte de los melanomas surgen de melanocitos en la piel normal (Berkow, 1978).

Aunque es mucho menos común que los otros dos tipos de cáncer cutáneo, el melanoma es un cáncer importante con una tasa de sobrevivencia similar al cáncer de pecho (60%), además, la incidencia y las tasas de mortandad están subiendo rápidamente en todos los países en que se ha estudiado. Las tasas de mortalidad se están elevando en c. 3 al 9% anualmente, de tal manera que se han duplicado en los últimos 15 años (Urbach et al., 1979). Este incremento se ha observado sobre todo en los países desarrollados; en Estados Unidos la tasa era ya de 6-10/100 mil en 1977, a pesar de las mejoras en el tratamiento se reportan valores extremos en Japón: 1/100 mil y en Queensland, Australia: 24/100 mil. El incremento en incidencia y mortalidad ha sido mucho mayor en gente joven que en los mayores de 65 años, implicando un mecanismo causal que opera desde temprana edad e incide sobre la adecuación (Rowland, 1979; Urbach et al., 1979; WHO, 1979b)

## C A P I T U L O VII

## H O M B R E

El primer hombre, el Homo erectus, aparece aproximadamente hace 1.3 millones de años, habiendo evolucionado en las regiones tropicales (Africa probablemente) a partir de sus antepasados prehumanos: los australopitécidos (White y -- Brown, 1976).

Este homínido precursor hasta hace 300 mil años del Homo sapiens, junto con una miriada de organismos pertenecientes a los cinco reinos de la vida, surgió en un medio ambiente absolutamente natural, es decir no perturbado aún por la acción humana, ya que fue precisamente él quien empezó a explotar -- como jamás antes lo hiciera otra especie los recursos de su ambiente (Leakey, 1981). De aquí que consideremos a la -- contaminación ambiental como una acción específicamente humana. No así la perturbación ecosistémica tal y como la desertificación o la pérdida de selvas tropicales que implica, junto con los demás constituyentes biosféricos trabajados anteriormente, fuentes tanto naturales como antropogénicas perturbadoras, aunque claro está, en el sentido actual y como lo hemos señalado oportunamente, la perturbación/destrucción ecosistémica es netamente de origen humano.

Es cierto, como señala Rachel Carson, que millones de años -- antes de que el hombre, o incluso la vida, apareciera en el planeta, existía ya la radiación UV que hoy sigue causando -- tumores, también es probable que hubiese ciertos niveles de -- radiación procedente de la desintegración de elementos radioactivos presentes en las rocas y que de estas mismas se --



desprendiesen por intemperismo elementos tóxicos para la vida, como el arsénico y otros, que podrían haber dañado por contaminación acuática y/o alimentaria a los organismos del planeta (Carson, 1961). Pero también es cierto que los procesos evolutivos condujeron al desarrollo de mecanismos mediante los cuales poco a poco (o merced a cambios "bruscos") los organismos pudieron enfrentar, y aún lo hacen, niveles naturales (bajos en concentración) de metales pesados, dióxido de azufre y  $\text{NO}_x$ , más aún, muchas especies químicas consideradas hoy día como contaminantes deletéreos, tales como el monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxido nitroso, cianuros, nitratos, nitritos, el mercurio y el cadmio, son tóxicos por encima de ciertos niveles, pero todos aparecen en forma natural en la Biósfera, y cuando se presentan en bajas concentraciones los organismos se pueden desintoxicar de ellos sin sufrir mayor daño (Manahan, 1984).

Lo que pretendo dejar en claro es que, en efecto, existía el humo de bosques que se quemaban por descargas eléctricas durante las tormentas o durante el cálido y seco verano africano, el océano mundial contenía ciertos niveles de petróleo debido a escurrimientos naturales y todos los elementos señalados se encontraban presentes en la Biósfera en el momento en que aquel animal inteligente se integró como especie a la comunidad biosférica, es decir, el hombre no surgió a la vida en un ambiente puro en el sentido químico del término y -- tampoco en medio de una absoluta profilaxis en el sentido médico (de hecho en estas condiciones tal vez no hubiera surgido), el hombre aparece en un medio ambiente hostil, agresivo, que ponía a prueba sus adaptaciones para reproducirse con buen -- éxito mediante un alto grado de adecuación. Un ambiente cargado de patógenos (hasta años recientes, merced a la ingeniería genética, no se habían producido en el planeta virus, bacterias

u hongos patógenos muy diferentes a los que nos muestra el - registro antropológico e histórico), de depredadores de huma nos, de especies químicas tóxicas naturales y de cambios -- ( en ocasiones bruscos y/o milenarios) de temperatura ; fue un ambiente contemporáneo evolutivamente hablando para la nueva especie y en medio de su seno se abrió paso la evolución hu mana.

No obstante, hasta donde sabemos por los registros y/o - podemos inferir por nuestra inteligencia, ni los metales en solución en el mar, ríos y lagos ( muchos de los cuales son constituyentes esenciales de la vida), ni el petróleo sobre las aguas o el lecho oceánico, ni los productos químicos naturales (terpenos y otros), ni los patógenos presentes en el nacimiento de la especie impactaron biológicamente, en el -- sentido en que en su oportunidad lo definimos, ni al hombre ( por definición) ni a los organismos que compartían con él - en ese momento el planeta más bello del sistema que giraba - en torno, y aún lo hace, a esa estrella enana amarilla (G-2 - para la astrofísica) llamada Sol.

El hombre y sus contemporáneos surgieron y compartieron un mundo contaminado " naturalmente ", pero esta " contamina ción natural " fue parte del útero terrestre que dio naci -- miento a la especie, y que era cualitativa y cuantitativamen te diferente a la perturbación introducida por la bestia hu mana después de más de 1 millón de años de enfrentamiento -- (raras veces de entendimiento) con el mundo natural que lo - rodeaba. Hoy, finalizando lo que hemos dado en llamar el si glo XX, el hombre ha desatado ya no un enfrentamiento sino - una feroz batalla ( la última) contra el medio que lo sus - tenta y le da la vida.

En los capítulos anteriores hemos repasado somera pero objetivamente algunos de los principales flancos de ataque humano en este irracional ecocidio en que nos hemos propuesto desintegrar hasta sus cimientos la matriz viviente del planeta: aire, agua, tierra y organismos asociados han sido blanco de nuestra torpeza tecnológica para administrar con inteligencia ( que nos debiera caracterizar) los recursos vivos e inertes del planeta ( Césarman, 1972).

Lamentablemente el hombre olvidó, a través de sus prejuicios religiosos, sociales, raciales, económicos y culturales, que él mismo es parte importante ( hoy día la más importante debido a su potencial aniquilador) del gran ecosistema mundial que de manera tan eficiente se ufana en degradar hasta la extinción día con día; y el olvido se ha tornado parte de su problemática cotidiana y hoy en día el mismo animal político, ser histórico que se elevó de las llanuras de Olduvai y Laetoli, tras un inmenso esfuerzo milenario, hasta el Mar de la Tranquilidad en la Luna y Utopía Planitia en Marte, se enfrenta a su misma acción ecocida y recibe como lo han hecho desde siglos, plantas, animales y microorganismos de la Tierra el impacto biológico producto de su propia acción.

Son muchas y variadas las formas en que el hombre reduce su adecuación a través de la manipulación de los compartimentos biosféricos ( tierra, océano y atmósfera) de la nave Tierra. No es objeto de la presente investigación incidir ampliamente sobre ellas, no obstante no podría completar el análisis del impacto biológico sobre la Biosfera sin ejemplificar el que el hombre ejerce sobre sí mismo. Esto lo hará analizando la relación entre el hombre y el cáncer, enfermedad ambiental por excelencia, y señalando posteriormente algunas otras vías mediante las cuales el hombre atenta contra su propia adecuación en su impostergable desintegración de la trama de la vida en la Tierra.

El hombre contemporáneo vive en un medio ambiente altamente contaminado sobre todo en las zonas urbanas; la pureza del aire en el campo, las costas y el mar pertenece al pasado, de acuerdo con el transporte aéreo de los contaminantes ( ver capítulo V). Sin embargo, la gran capacidad de dilución de la atmósfera confiere aún un status envidiable en cuanto a la calidad del aire para muchas zonas de la Tierra, principalmente en el hemisferio sur. Empero, el problema es creciente para la población humana debido al crecimiento de las ciudades sobre todo en los países subdesarrollados ( migración campo/ciudad). De acuerdo con Rafael - Salas, Director Ejecutivo del FNUAP, los habitantes urbanos están pasando rápidamente a constituir la mayor parte de la población mundial. En la actualidad, más del 40% vive ya - en zonas urbanas, la proporción llegará a más del 50% poco después de los comienzos del siglo XXI, 81.2% en los países desarrollados y 47.3 en los países en desarrollo para el año 2010 (Salas, 1986).

El aire urbano y en general la ciudad ejerce una influencia nociva sobre sus habitantes debido a que en ella se concentran:

- mayor número de autos, por lo tanto de gases y partículas que formarán el esmog fotoquímico
- gran concentración de patógenos de diversos grupos y una rápida transmisión de enfermedades debido al elevado número de vectores potenciales que surgen de la aglomeración citadina
- disminución de la calidad de los alimentos, merced a la necesidad de una disponibilidad masiva que se satisface sólo mediante el empleo de especies químicas en los alimentos para su preservación

- ingesta masiva a diversos niveles: cutánea, oral, respiratoria, etc. de todo tipo de productos químicos, tóxicos para la población ( solventes, tetra- etilo de plomo, pinturas, hidrocarburos varios)
- exposición a una elevada dosis de radiaciones ionizantes y de otro tipo provenientes de equipos industriales y médicos, universidades y otros centros de investigación, aparatos de televisión, hornos de microondas, luz negra de centros nocturnos y almacenes comerciales, infra y ultrasonidos
- consumo masivo de cigarrillos, alcohol y drogas para los cuales la población concentrada en ciudades es un gran mercado
- exposición generalizada por las construcciones habitacionales y otras, la circulación de automotores, etc. a sustancias tóxicas como el asbesto, el PVC y otros
- nivel inadmisibles para el organismo humano de ruido derivado de diversas fuentes con las consecuencias correspondientes
- elevada tensión psicológica debida a todo lo anterior- pero fundamentalmente al apiñamiento, que conduce a una baja en las defensas corporales facilitando la acción de las especies químicas y de los patógenos
- lo más importante es la exposición de los niños (organismos prerreproductivos) a todo ello, a sabiendas de que son más vulnerables que los adultos a los contaminantes y a los trastornos ambientales (PNUMA, 1980b).

De tal manera que en los llamados ecosistemas urbanos, una vez rebasado el umbral de 2 millones de habitantes calculado por la OIT como un límite aceptable ( el óptimo se calcula en 500- mil habitantes), se presenta un grave deterioro en las condiciones generales de vida. ( Bairoch en 1982, citado por Salas, 1986).

Es decir que la población humana debiera vivir distribuida homogéneamente en ciudades de medio millón de habitantes para mantener un nivel aceptable de vida y evitar los efectos deletéreos de las grandes urbes. Frente a esto, en el Informe de la Población 1986, Rafael Salas señala que una proporción creciente de la población humana residirá en las ciudades más grandes, para el año 2025 ésta será el doble de lo que fue en 1970. Hacia este año, casi el 30% de la población urbana de los países en desarrollo vivirá en ciudades de más de 4 millones de habitantes, cantidad que será más del doble de la correspondiente a los países desarrollados.

Ya para el año 2000 habrá 6 superciudades de 15 millones de habitantes o más, 4 de ellas en las regiones en desarrollo:

México	26.3 millones de habitantes			
Sao Paulo	24.0	"	"	"
Tokio/Yokohama	17.1	"	"	"
Calcuta	16.6	"	"	"
Gran Bombay	16.0	"	"	"
Nueva York/Nueva Jersey	15.5	"	"	"

Ello significa que de manera creciente la población humana se concentra en torno a su propia contaminación con lo que seguramente se elevará el valor de impacto biológico hacia las fechas señaladas.

Al incrementarse la exposición a los contaminantes ambientales ( físicos, químicos y biológicos) sobre todo en las zonas urbanas, centros industriales y turísticos, etc. se incrementa el riesgo de contraer enfermedades que incidan directamente sobre la reproducción humana y sus productos. Acaso el principal de estos riesgos en la época contemporánea ( que ha sido denominado y con razón una de las cuatro " enfermedades de la civilización", Dubó's y Pines, 1967) es el cáncer.

### Cáncer y adecuación humana

El cuerpo humano está compuesto por diferentes órganos y tejidos constituidos por células, éstas pueden tener funciones muy diferenciadas y precisas, pero todas ellas se reproducen por división; en condiciones normales ese proceso de división está perfectamente regulado para que se formen nuevas células en sustitución de las que han muerto y para que los tejidos del organismo se mantengan en sus debidas -proporciones. Sin embargo, esa división celular puede escapar a veces a toda regulación y entrar en una fase de crecimiento anormal. Estos crecimientos anormales o tumores -pueden ser de carácter benigno o maligno, un crecimiento --benigno suele tener una localización limitada y no se ex --tiende a otras partes del cuerpo, una vez que se le elimina por completo no hay posibilidad de que se reproduzca; un crecimiento maligno se extiende en forma incontenible, -invade los tejidos circundantes y se desplaza con frecuencia por el sistema sanguíneo o linfático a otras partes del cuerpo donde origina crecimientos independientes ( Bland, 1981).

El primero en reconocer esta diferencia entre tumores benignos y malignos fue el médico griego Hipócrates (460-370 a.n.e.), a quien las cuñas invasivas ( o extensiones del tumor) le parecieron como las pinzas del cangrejo, de tal forma que llamó a esta enfermedad por la palabra cangrejo en griego, que una vez latinizada pasó al español como cáncer (Rensberger, -1984).

Esta actividad invasiva de ciertas formas de cáncer puede ser seguida de metástasis o proliferación en sitios distantes del tumor original, generalmente a través del torrente sanguíneo o del sistema linfático. Este proceso de metástasis es -

la razón principal de la letalidad del cáncer, ya que pone la enfermedad más allá de ciertos medios de curación ( como la - cirugía o la irradiación local). No obstante, algunos cánceres por razones desconocidas son incapaces de metástasis, por ejemplo la mayor parte de los cánceres cutáneos (Cairns, 1985).

Podemos dividir a grosso modo los cánceres en tres grupos principales:

- carcinomas, cuando se presentan en los tejidos epiteliales ( piel, vejiga, pulmón, seno)
- sarcomas, en los tejidos conjuntivos o estructuras de soporte ( hueso, cartílago, tendón, músculo) y en los vasos sanguíneos
- leucemias y linfomas, en células formadoras de sangre (médula ósea) y nódulos linfáticos

por cierto estos últimos son los que presentan el mayor grado de metástasis debido a la circulación corporal de sangre y -- linfa ( Cairns, 1975; PNUMA, 1976; Cairns, 1985).

Otra forma de clasificarlos comprende el órgano en que se originan y la clase de células implicadas, considerados de esta manera encontramos más de cien variantes de la enfermedad (Cairns, 1975). Entre los principales tipos de cáncer están los - de:

bronquios ( broncogénico)  
 cervix ( cuello del útero)  
 esófago  
 amígdalas  
 nariz y senos paranasales  
 trompa de Falopio ( oviducto)  
 vagina, vulva y uretra  
 laringe y cuerdas vocales  
 mamas ( senos)  
 ovarios  
 escroto y pene  
 piel (ver capítulo VI)



oído externo y medio  
 próstata  
 pulmón  
 riñón  
 vejiga  
 endometrio  
 y nasofaríngeo

Otros cánceres comprenden: tiroides, testículos, útero (tejido que lo recubre), colon, recto, cerebro, estómago, páncreas, hígado, corazón, cráneo, hipófisis, vesícula biliar, gastrointestinales, leucemia, etc. ( PNUMA, 1976; Berkow, 1978; Clark, 1985).

No obstante la diversidad, casi la mitad de la mortandad por cáncer se debe a la enfermedad de tres órganos: los pulmones, el intestino grueso y los senos ( Cairns, 1975).

Los datos varían mucho entre las naciones y grupos de naciones, tan sólo en Estados Unidos uno de cada tres americanos, unos 80 millones a mediados de 1986 (U.N. 1986) desarrollará cáncer en algún momento de su vida y uno de cada cinco morirá de la enfermedad ( Cairns, 1985). En conjunto los países desarrollados presentan una mayor incidencia que los países en desarrollo, en los primeros las causas de muerte por cáncer en 1980 fueron en total 19%, casi uno de cada cinco decesos:

4% por cáncer de pulmón  
 2.5% por cáncer de estómago  
 12.5% todos los demás tipos (neoplasmas)

mientras que en los países en desarrollo la mortandad total fue de sólo el 6% ( Salas, 1984).

El cáncer no es exclusivo de los hombres y mujeres del planeta, debido a los desechos que vertemos en los cuerpos de agua se han detectado crecientes incidencias de cáncer en los peces; en el Lago Ontario, reconocido receptor de especies

químicas de las industrias instaladas desde las Cataratas del Niágara hasta Chicago, se ha encontrado un elevado porcentaje de la enfermedad en una especie del género Catostomus (Hume, - 1981), se tienen reportes de mediados de los setenta de cáncer en los peces del Lago Torch en Michigan y del río Hudson en Nueva York. Recientemente la situación se ha agravado:

- William Dey y Thomas Peck encontraron que más del 80% de los machos mayores de dos años de bacalao del Atlántico, en el río Hudson, presentan cáncer del hígado
- John Black del Instituto Memorial encontró que el 30% de los peces gato, en el río Buffalo de Nueva York, -- tienen cáncer en la piel o en el hígado, así como el 80% de los que alcanzan la edad de tres años en el río Negro de Ohio
- Donald Malins del Centro de Pesquerías de Seattle y -- Alaska reporta que casi el 70% del lenguado inglés del puerto interior de Everett, Washington, presentan hígados seriamente dañados, cancerosos con frecuencia
- David Leddy reporta que en el Lago Antorcha en Michigan cada perca y lucio capturados en sus aguas tienen un tumor en el hígado ( Begley y Hager, 1984)

#### ¿Qué causa el cáncer?

Hoy, después de años de investigaciones y pruebas podemos responder a esta pregunta lapidaria con cierta seguridad: el cáncer lo produce cualquier cosa que haga que la célula normal se vuelva maligna y se reproduzca en cantidades indeseadas -- hasta que se convierte en un tumor que crece constantemente - ( Clark y Witherspoon, 1984).

La historia de la búsqueda de estos factores generadores del cáncer o carcinógenos se remonta - según los registros - más conocidos - al año de 1775 en que un médico londinense, - Sir Percivall Pott observó una correlación entre el cáncer - de la piel del escroto y la continua exposición de los desho<sup>ll</sup>linadores de la ciudad al hollín de las chimeneas, Pott declaró que la enfermedad debería ser causada por este factor pero nunca pudo proporcionar la prueba fehaciente de ello. Por más de un siglo después del descubrimiento de Pott parece haber habido escasa comprensión acerca de que ciertas de las especies químicas en el medio humano podían causar cáncer a través de un repetido contacto con la piel, inhalación o ingesta bucofaríngea. Es cierto que se había observado que el cáncer en la piel prevaecía entre los trabajadores expuestos a los humos de arsénico en las fundiciones de cobre y estaño - en Cornwall y Wales; y se sabía que los trabajadores en las minas de cobalto en Saxony y de uranio en Joachimsthal en Bohemia, estaban sujetos a una enfermedad de los pulmones, -- identificada posteriormente como cáncer, pero no se hacían -- las correlaciones correspondientes.

El primer reconocimiento de tumores malignos relacionados a la nueva era industrial se dio durante el último cuarto del siglo XIX en estudios que se realizaron con el cáncer cutáneo entre los trabajadores en la nueva industria del lignito en Saxony y en la industria escocesa de pizarras, junto con otros cánceres producidos por exposición ocupacional a los alquitranes y breas.

Hacia fines del siglo XIX se conocían ya una media docena de fuentes de cánceres industriales; el inicio del nuevo siglo se distinguió - merced al desarrollo de la industria química - por la introducción masiva de nuevas especies químicas al ambiente y por llevarlas a un contacto íntimo con la población en general ( Carson, 1962).

En los últimos años, una colección creciente de testimonios de todo el mundo indica que el cáncer se debe de forma abrumadora a factores ambientales. Ya para 1958 se sugirió que del 70 al 80% de los cánceres estaban directa o indirectamente relacionados con el medio ambiente antropogénico. - En 1975, la OMS estimó que más del 85% de todos los casos de cáncer son el resultado directo de la exposición a factores ambientales diversos ( Clark et al., 1976).

El cáncer puede ser causado por una amplia variedad de factores, que a menudo actúan en forma combinada durante muchos años. Otras formas son causadas por factores hereditarios, por ejemplo el retinoblastoma, tumor del ojo que se produce en los niños. Aparentemente algunos cánceres como el linfoma de Burkitt, el carcinoma nasofaríngeo y quizá el cáncer del cuello uterino, se asocian con infecciones del virus herpes. Sin embargo, la abrumadora mayoría de los factores causales que se han aislado son de alguna forma ambientales: guardan relación con el aire que la gente respira o con el agua que bebe, con el medio ambiente en que trabaja o vive, con su dieta personal o su forma de vida, o bien con hábitos como fumar tabaco o marihuana o beber alcohol. De hecho una gran parte de las investigaciones sobre las causas del cáncer se basan ahora en la hipótesis de que todos los cánceres son de origen ambiental mientras no se demuestre lo contrario. -- (PNUMA, 1976).

Podemos considerar dos grupos de factores que intervienen en la gestación del cáncer en una persona:

- internos: edad, sexo, herencia, condición de la respuesta inmune

- externos: carcinógenos ambientales, fundamentalmente -  
de tres tipos:

- físicos
- químicos
- biológicos (virus, aflatoxinas y parásitos)

(Dubós y Pines, 1967; Holdgate et al., 1982).

Otras causas y sus productos serían:

<u>circunstancia</u>	<u>localización del cáncer</u>
historia reproductiva:	
primer embarazo a edad tardía	mama
nuliparidad o baja fecundidad	ovario
masticación de betel, tabaco, cal	boca
promiscuidad sexual (femenina)	cuello del útero
sobrealimentación (causante de obesidad)	endometrio, vesícula biliar
bebidas alcohólicas	boca, faringe, laringe, esófago, hígado
tabaco (hábito de fumar)	boca, faringe, laringe, pulmón, esófago, vejiga.

Fuente: Peto, 1981

Antes de entrar al análisis de algunos de los principales carcinógenos ambientales es conveniente señalar cuál es el mecanismo de acción mediante el cual una célula normal se transforma en cancerosa o maligna.

Mecanismo de aparición del cáncer. - ¿Qué es lo que hace que las células cancerosas se diferencien de las normales? la respuesta de este enigma a nivel molecular se ha obtenido recientemente.

Para un biólogo, una célula es el producto de los diversos genes que se expresan, entonces ¿son los genes que se expresan en la célula cancerosa los mismos que en la célula normal siendo ésta tan distinta?.

Las células cancerosas se distinguen en varios aspectos - de aquellas de las que proceden, las diferencias pueden ser: bioquímicas, inmunológicas o funcionales.

El crecimiento de las células cancerosas es en general - más lento que el de las células normales. Las células de algunos cánceres (pulmón) secretan hormonas polipéptidas y otras proteínas, ello significa que en las células cancerosas algunos genes que debieran ser inactivos se han activado. La conclusión es que la expresión de los genes está profundamente modificada en las células cancerosas; una organización bien controlada se ha vuelto desordenada, casi caótica: los genes que deberían ser activos no lo son y viceversa, e incluso de un tumor a otro ( del mismo tipo: hígado) la expresión de los genes no es la misma. ¿cuál es el mecanismo que produce esta desorganización?

Desde 1968 se sabe que para todos los virus tumorígenos cuyo material genético es el ADN, la primera etapa de la acción-tumorígena es la inserción del genoma viral en el ADN del núcleo celular (" integración" ). A partir de 1970 y gracias a los trabajos de Temin y Baltimore ello se ha extendido a los virus cancerígenos de ARN.

El primer estadio de la expresión de cualquier gen es su - copia correcta (" transcripción") en otra especie de ácido nucleico, el ARN mensajero. La transcripción que se efectúa por una enzima llamada ARN-polimerasa comienza en un punto concreto del ADN, situado cerca del gen en cuestión, llamado promotor. El ADN es copiado en una sola dirección y la polimerasa se detiene después del copiado.

En cada célula hay un número muy elevado de promotores, en efecto cada gen, o como máximo cada grupo de genes de expresión coordinada, posee uno. Estos promotores sin duda no son idénticos

y sus propiedades explican por qué los muy numerosos genes - del patrimonio hereditario son expresados de manera muy distinta en los diferentes tipos celulares.

Los genes víricos, en general, son fuertemente activos - debido a que sus promotores son muy eficaces.

En los años 1970 quedó claro que era la " integración" - de ADN viral la que producía la transformación celular o cáncer.

La carcinogénesis requiere la expresión de un gen particular, el oncógeno src ( de sarcoma ) presente en el genoma del virus. La expresión de este gen en la célula infectada se -- traduce en la síntesis de la proteína transformante src, que es responsable por sí misma de la " transformación " de las - células. Esta proteína especial tiene una función particular: es una proteínquinasa, es decir una enzima que transfiere un- fosfato a otras proteínas modificando entonces profundamente su función. O sea que esta proteínquinasa transfiere iones - fosfato a los aminoácidos de las proteínas durante la fosfori lación ( la adición de fosfato a las proteínas es uno de los- medios conservados por la evolución para modificar la activi- dad de las proteínas, y es ampliamente utilizado por las célu las con fines reguladores; es así por ejemplo como se regula el metabolismo del glucógeno en el hígado); pronto se descu - brió que transfiere los fosfatos al aminoácido tirosina, lo - que coloca a esta proteína ( pp 60 v-src) fuera de las -- clases conocidas de proteínas quinasas, las que fosforilan -- los aminoácidos serina y treonina. La fosforilación de la -- tirosina ha resultado ser una característica común de las enzi mas que codifican para los oncógenos; también tienen un papel en la regulación del crecimiento de las células normales. -- Ahora ya está claro que la fosforilación de las proteínas es - uno de los medios centrales por los que se gobiernan las --

actividades de las células en crecimiento. Una enzima, al fosforilar un cierto número de proteínas, puede alterar ampliamente el funcionamiento de una célula. En el caso de esta enzima se han propuesto dos modos de acción:

- la enzima podría fosforilar una única proteína precipitando una cascada de eventos que juntos dan lugar a las propiedades de una célula cancerosa
- la enzima podría fosforilar numerosas proteínas afectando directamente las funciones de cada una, y tal vez por este medio precipitar eventos secundarios o incluso cascadas de ellos

Originalmente se pensó que el sitio de acción era el núcleo de la célula, hoy sabemos que la mayor parte de la proteína pp 60 v-src se une a la membrana plasmática (muchos biólogos han argumentado que el control del crecimiento celular puede originarse aquí en la membrana plasmática y en sus estructuras asociadas).

Este gen vírico src no es otra cosa que un gen celular normal que ha sido capturado "accidentalmente" por el virus. Lo importante aquí es que este evento accidental y rarísimo de captura, muestra que en las células de todos los animales (incluyendo al hombre) hay normalmente genes que, al menos en ciertas condiciones, son capaces de provocar un cáncer.

El hecho de que la estructura de los genes celulares del cáncer (oncógenos) haya sido conservada en el curso de la evolución sugiere que éstos tienen funciones biológicas importantes. Ya en 1982 se esclareció que los oncógenos son expresados durante ciertas etapas del desarrollo y de la diferenciación celular normales (Dulbecco, 1983).



Huebner y Todaro sugirieron que los oncogenes retro-virus son parte de la carga genética de todas las células, tal vez adquiridos a través de infección viral en las formas tempranas de la evolución. Los oncogenes podrían ser inocuos mientras permanecieran imperturbados, pero estimulados por un carcinógeno podrían convertir las células en cáncer.

Razonamos- dice Bishop- que si la hipótesis era correcta deberíamos ser capaces de encontrar el gen src en el -- ADN de células normales. Y lo encontraron, es virtualmente indistinguible de la proteína viral, por eso lo llamaron - pp 60 c ( de célula )- src. Las dos proteínas son similares en tamaño y estructura química, ambas catalizan la fosforilación de la tirosina y ambas están fuertemente unidas a la membrana plasmática de las células. Parecería que las dos - fueron diseñadas para el mismo fin, no obstante que una es - una proteína viral que produce cáncer ( en células animales) y la otra es una proteína de las células normales.

Los genes del cáncer pueden no ser huéspedes indeseados- sino constituyentes esenciales del aparato genético de la -- célula, " traicionando" a la célula sólo cuando su estructura de control es perturbada por carcinógenos ( Bishop, 1982).

A priori es sorprendente que las células normales puedan contener genes del cáncer sin que, en general, ocurra nada. Los genes celulares del cáncer son totalmente inactivos o -- débilmente activos en las células adultas por la baja actividad del promotor. La transformación por un virus sarcoma-tógeno es provocada por la expresión de estos genes a niveles muy elevados: cuando el virus ha capturado el gen lo coloca - bajo el control del promotor vírico, sustrayéndolo así del -- control normal que se ejercía sobre él de manera muy precisa.

Los experimentos realizados no dejan ninguna duda tanto por lo que se refiere a la presencia de genes del cáncer en células normales como al mecanismo de su activación y a su papel en la génesis de los tumores.

La conclusión es evidente, la carcinogénesis vírica es provocada por la activación de genes celulares del cáncer. El papel esencial de los genes del cáncer en la aparición de tumores inducidos por los virus sugiere que estos genes podrían participar igualmente en la génesis de otros cánceres, comprendidos los inducidos por sustancias químicas y los espontáneos, de etiología indeterminada, como son a menudo los del hombre. ¿Serán todos los cánceres producidos pues por la activación de genes del cáncer ?.

Se ha establecido una probable participación vírica en algunos tumores humanos, como la del virus de la hepatitis-B en los cánceres primitivos del hígado o la del virus de Epstein-Barr, en el linfoma de Burkitt y los tumores de rinofaringe. No obstante, los virus no pueden ser puestos de manifiesto en la génesis de la mayoría de los cánceres humanos. Hay pues, muy probablemente, un mecanismo no vírico de activación de los genes del cáncer en el hombre.

La activación de genes del cáncer, por lo menos en algunos tumores inducidos químicamente, ha sido ya formalmente establecida. ¿Cómo pueden los agentes químicos activar un gen del cáncer normalmente inactivo, aunque presente en una célula ?.

La activación puede deberse al desplazamiento de un oncógeno celular, es decir, una translocación (cambio de lugar natural en el cromosoma) a las proximidades de un

promotor muy activo presente en el ADN celular. No se sabe aún si éste es o no el mecanismo pero en caso de serlo el gen traslocado permanecería largo tiempo bajo la dependencia de los otros genes celulares, ya que la acción de los agentes químicos carcinógenos es- en general- muy lenta y progresiva.

Muchas de las sustancias químicas provocan anormalidades del material hereditario, tales como mutaciones, también pueden provocar translocaciones de genes, no obstante, no es regla general ya que sustancias fuertemente carcinógenas como el asbesto o las hormonas, no son mutágenos y no sugieren que puedan modificar el ADN. Así pues, no parece necesario inducir alteraciones de la estructura de los genes (mutaciones) o translocar genes, para la aparición de cánceres provocados por las especies químicas.

Al parecer estos cánceres son resultado de un conjunto de acontecimientos, además, el efecto de agentes químicos o físicos depende de la manera en que son aplicados.

La inducción de tumores mediante especies químicas está constituida por dos o varios procesos distintos:

- la exposición original a un iniciador químico
- seguida de exposiciones continuas al promotor químico

o una serie de acontecimientos llamados de promoción sucesivos y quizá múltiples ( Manahan, 1984).

La primera ( iniciación) podría ser mutación o translocación, la segunda ( promoción) es aún menos conocida pero podría tener como efecto principal cambiar el estado de diferenciación de las células.

Si la acción promotora es débil los tumores pueden ser benignos, no presentan la profunda desorganización de los genes celulares, característica del cáncer. Estos tumores son a veces reversibles y desaparecen si cesa la estimulación. En consecuencia, las lesiones iniciales dependen en gran medida de la persistencia de la acción promotora.

Tanto en el caso de la carcinogénesis química como en el de la vírica, la activación de un gen del cáncer no puede en trañar la transformación ( a célula maligna ) si la actividad de los otros genes celulares lo impide. El carácter maligno de los tumores inducidos por agentes químicos aumenta si la acción promotora persiste. Sólo entonces se empieza a observar una desorganización progresiva de las funciones de los genes celulares. Sin lugar a dudas la acción promotora tiene un papel importante en el desarrollo de los cánceres.

Hasta ahora hemos considerado la acción inicial y la promotora como dos fenómenos distintos, que se pueden atribuir a sustancias de diferente naturaleza. Pero está claro que -- una misma sustancia puede tener las dos funciones; en efecto, numerosas sustancias cancerígenas, con la condición de que -- actúen durante largo tiempo, no requieren promotor. Las sustancias más cancerígenas ( como el dimetilbenzantraceno ) tienen esta propiedad. Los carcinógenos químicos de doble acción son potentes reactivos químicos ( o generan tales sustancias en las células ) capaces de modificar químicamente no sólo al ADN sino también al ARN y las proteínas. Así, pueden producir modificaciones en muchas moléculas de la célula, al igual que la proteinquinasa src de los virus sarcomatogénicos. De este modo pueden modificar moléculas que dirigen la actividad de los genes celulares y, así, modificar el repertorio de genes activos en una célula determinada.

Modelo molecular común.- sobre lo anterior es posible formular un modelo molecular general del proceso de la carcinogénesis. Empezaría con alteraciones estructurales de algunos genes ( por mutación o translocación) que se traducirían en modificaciones con efecto promotor de otras moléculas presentes en la célula. Según este modelo, la acción promotora modifica la actividad de muchos genes celulares permitiendo nuevas modificaciones de su estructura. Estas modificaciones y las de actividad se suceden unas a otras de forma imprevisible y reforzándose recíprocamente. En un momento dado de este proceso, un gen del cáncer en estado latente se activa. Durante algún tiempo su expresión permanece bloqueada por el funcionamiento del conjunto de los otros genes, pero modificaciones de la actividad de éstos debidas a la promoción permiten una expresión cada vez mayor del cáncer, aumentando progresivamente el carácter maligno de las células afectadas. De modo que el cáncer dependería fundamentalmente de dos acciones:

- la estimulación al azar de un gen del cáncer
- la modificación de la actividad de los otros genes celulares necesarios para que aquél, una vez activado, pueda efectuar su acción transformante.

Este modelo tiene consecuencias importantes:

- una sustancia química para ser cancerígena debe ser no sólo mutagénica sino promotora. Esto explica por qué ciertos mutágenos no son carcinógenos
- en ausencia de acción promotora, las modificaciones estructurales de los genes que pueden causar la activación de los oncogenes dejan de tener efecto
- ciertas sustancias promotoras pueden por sí solas tener una acción cancerígena, revelando alteraciones estructurales preexistentes de los genes o favoreciendo su formación. De esta manera, podemos explicar posible

mento la acción cancerígena de sustancias no mutagénicas como el amianto, de ciertas carencias alimentarias o de ciertas hormonas

### Carcinógenos

Queda claro pues que la acción promotora tiene una gran importancia, tal vez predominante, en la génesis del cáncer, para prevenir el cual habría que medir la actividad promotora de sustancias químicas o de las circunstancias a las que los seres humanos están expuestos (Dulbecco, 1983).

El grupo de carcinógenos físicos comprende una gran diversidad de radiaciones: RUV-B solar, rayos X y radiación ionizante de bajo nivel.

Aunque de los efectos de la RUV hemos hablado ya (ver -- capítulo VI) no está demás añadir algunos datos interesantes. Entre 1930 y 1986 la incidencia de melanoma se ha incrementado en más de 900%. De acuerdo con la Fundación Americana del Cáncer en la Piel, la posibilidad de desarrollar un melanoma merced a la exposición a la RUV solar en el presente siglo: -

año	No. de casos
1930	1 en 1500
1950	1 en 600
1980	1 en 250
1986	1 en 150
2000	1 en 100

De hecho se considera que por lo menos en Estados Unidos hay una verdadera epidemia de cáncer cutáneo en sus tres formas.

Por años se pensó que la RUV-A (de onda larga) no era -- peligrosa y que podría usarse - y de hecho se usa en "centros de bronceado" - en sustitución de la RUV-B más dañina - para el bronceado de la piel; no obstante, estudios recientes

realizados por el Dr. Harris Targovnik, radioterapeuta del Centro Médico Monte Sinaí de Nueva York, con células humanas y de ratón cultivadas, demostraron que a elevadas dosis de RUV-A se puede inhibir el proceso de reparación del ADN presentándose una relación sinérgica con la RUV-B (Adler et al, 1986), es decir que la exposición a la RUV-A actuaría como el iniciador y la exposición posterior a la luz solar y su RUV-B como el promotor. En efecto, en los últimos años ha habido una fuerte elevación en las tasas de incidencia de melanoma no sólo en los Estados Unidos, también en Noruega la tasa se ha triplicado con creces en un período de 20 años (1955-1974, PNUMA, 1976).

Radiación ionizante de bajo nivel.- Con frecuencia se clasifica a la radiación en ionizante y no-ionizante. La radiación ionizante es aquella que tiene suficiente energía para separar o añadir uno o más electrones de un átomo o molécula, dejándolos con una carga positiva o negativa. Por conveniencia las radiaciones con una energía mayor de cerca de 10 electrón voltios (eV) se clasifican como ionizantes.

La radiación puede también clasificarse como mecánica, particulada y electromagnética:

- las radiaciones mecánicas consisten de sonido, ultrasonidos e infrasonidos, todos los cuales son no-ionizantes
- las radiaciones particuladas son de muchos tipos: partículas alfa y beta, neutrones, protones y mesones, todas excepto los neutrones son radiaciones ionizantes
- las radiaciones electromagnéticas pueden ser ionizantes o no-ionizantes, primer grupo: los rayos cósmicos de alta energía ( $10^{18}$  eV) pueden ser particulados o

electromagnéticos, los rayos X y los rayos gamma que se caracterizan por longitudes de onda relativamente cortas y altas frecuencias; segundo grupo: RUV - ( 3.18 a 10.0 eV), radiación visible (1.57 a 3.18eV), radiación infrarroja o calor (  $1.2 \times 10^{-3}$  a 1.57 eV), microondas (  $6 \times 10^{-7}$  a  $1.2 \times 10^{-3}$  eV), radio frecuencias (  $4 \times 10^{-8}$  a  $6 \times 10^{-7}$  eV) y longitudes de ondas mayores ( menores de  $4 \times 10^{-8}$  eV); aún bajos niveles de estas radiaciones no ionizantes pueden ser dañinas para el hombre, por ejemplo el cáncer en la piel puede ser producido por RUV y las cataratas en los ojos por la radiación de microondas ( Morgan, 1981)

Las fuentes de la radiación ionizante pueden ser naturales o antropogénicas:

- naturales, rayos cósmicos del espacio exterior y del sol y radiaciones alfa, beta y gamma de la desintegración del uranio, torio, radio y otros elementos radiactivos en la corteza de la Tierra ( rocas) y en el suelo, aire y alimentos e incluso emisiones de radionúcleos (isótopos radiactivos ) tales como el potasio 40, carbono 14 y radio 226 en nuestro propio cuerpo
- antropogénicas, lluvia radiactiva de las explosiones nucleares atmosféricas, escurrimientos de agua o escapes de gases de plantas nucleoelectricas, exámenes médicos y dentales ( rayos X, radioisótopos y otros), materiales de construcción, fertilizantes -- fosfatados, componentes emisores de radiación de aparatos de televisión, relojes de carátula luminosa y otra gran diversidad de productos y equipos para uso cotidiano en el hogar ( Morgan, 1981; Upton, 1982).



Hay muchos mecanismos de daño crónico por radiaciones a las células somáticas incluyendo:

- daño a los vasos sanguíneos que abastecen a las células
- daño a la membrana celular
- formación de especies químicas dañinas como el --- peróxido de hidrógeno
- daño al sistema corporal de mantenimiento y reparación (sistema reticuloendotelial) de modo que las - células blancas de la sangre fallen en reconocer y remover proteínas extrañas y células cancerosas en sus primeros estadios de desarrollo
- daño directo al núcleo de la célula

En este último caso el daño comprende efectos teratogénicos (defectos al nacimiento), vía mutaciones, en los cromosomas de los padres y efectos carcinogénicos\*, vía (probable) translocaciones, y otras perturbaciones del ADN (Morgan, 1981) .

Al penetrar la radiación ionizante en el tejido viviente, cede su energía a través de una serie de colisiones e interacciones al azar con átomos y moléculas a su paso. Aquéllas dan lugar a iones y radicales químicos reactivos los que desintegran los enlaces químicos y causan otros cambios en las moléculas vecinas. La distribución de los eventos ionizantes a lo largo de la senda del rayo que incide o de la partícula que penetra depende de la energía, la masa y la carga eléctrica de la radiación, y en menor grado de la densidad del tejido absorbente. En general, los rayos X y gamma ( que son eléctricamente neutros) están caracterizados por una baja tasa de transferencia lineal de energía, es decir, que generan iones en forma dispersa a lo largo de su trayectoria y penetran profundamente en los tejidos.

---

\* Debido a circunstancias históricas, la radiación ionizante es el carcinógeno ambiental mejor estudiado (PNUMA, 1986b).

En cambio, las partículas cargadas se caracterizan por una elevada transferencia de energía lineal y penetración somera, y ya que la capacidad de causar daño está correlacionada con la densidad de la liberación de energía de la radiación entrante, las radiaciones de alta transferencia lineal, por ejemplo protones o partículas alfa (núcleos de helio de peso atómico 4, que consisten de dos neutrones y dos protones) son generalmente más dañinas que las radiaciones de baja transferencia lineal, rayos X y gamma. No obstante, el uso de rayos X en la diagnosis y terapia médica continúa --- siendo la fuente principal de la exposición humana a la radiación. Se reporta una incidencia creciente de leucemia entre radiólogos, niños que fueron irradiados in útero y pacientes con espondilitis anquilosante tratados terapéuticamente con la radiación. En todos los casos hubo una relación cuantitativa entre la dosis de irradiación y el riesgo de -- desarrollar leucemia. Además se ha reportado el desarrollo de otros cánceres, incluyendo carcinoma celular escamoso, -- sarcomas en huesos y tejidos blandos y carcinomas de la tiroides después de la irradiación con rayos X (Holdgate et al, 1982).

En los años cincuenta E. B. Lewis del Instituto Tecnológico de California sugirió la posibilidad de que incluso pequeñas dosis de radiación pueden provocar cáncer, hoy en día -- persiste la controversia sobre tal hipótesis que sugiere en -- esencia que toda dosis por pequeña que sea implica un riesgo carcinogénico, mientras tanto, como producto de diferentes dosis y radiaciones se han identificado hasta hoy los siguientes tipos de cáncer: médula ósea (leucemias), senos de la -- mujer, pulmón, hueso, tiroides, estómago, esófago, vejiga, -- linfomas (tejido linfático), cerebro, útero, cérvix, hígado, piel, glándulas salivales, riñón, páncreas, colon, intestino delgado y recto (Upton, 1982).

Productos químicos orgánicos: hidrocarburos aromáticos policíclicos. - entre las principales especies químicas carcinógenas se encuentran los llamados hidrocarburos de la combustión, principalmente tres grupos han sido implicados en la carcinogénesis:

- hidrocarburos aromáticos policíclicos o polinucleares (HAP), como el benzo (a) pireno (BaP o 3-4 benzopireno)
- compuestos heterocíclicos polinucleares, como el -- dibenz (a,h) acridina
- agentes alquilantes que incluyen: epóxidos, peróxidos y lactonas ( Berry et al., 1974)

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos han recibido la mayor atención debido a los efectos carcinogénicos de algunos de ellos. El BaP es comúnmente citado como uno de los carcinógenos más potentes en este grupo. La palabra potente se -- usa con toda razón ya que se ha mostrado que el BaP induce -- cáncer en casi todos los tejidos animales de todas las especies en que ha sido ensayado, actúa en el sitio de aplicación y la dosis efectiva es del orden de microgramos ( Walker, 1971).

Otros miembros del grupo, de alta carcinogenicidad, son: - benz (a) antraceno, benz (c) acefenantrileno, benzo (b) y (j) - fluorantenos, criseno dibenzo (a, h) y (a, j) pirenos, el -- benzo ( e) pireno y el indeno (1,2,3-cd) pireno (Waldbott, - 1978); y el recién aislado del hollín ( 1975) ciclopenta (cd) pireno, que es un carcinógeno bien conocido (Manahan, 1984).

Los compuestos HAP se encuentran comúnmente en las atmósferas urbanas, en ellas se localizan en niveles superiores a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aunque algunas atmósferas específicas o efluentes pueden contener niveles muy elevados de dichos compuestos, por ejemplo los efluentes de un horno de carbón pueden contener - más de  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de compuestos HAP y el humo de los cigarrillos casi  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( Manahan, 1984).

En general podemos decir que los HAP son producto de la combustión de materia orgánica en condiciones deficientes de oxigenación y pueden producirse a partir de una gran variedad de hidrocarburos de muy bajo peso molecular, como el gas metano, mediante un proceso llamado piro-síntesis. El BaP por ejemplo se produce en grandes cantidades en la combustión incompleta de la gasolina, el diesel, los cigarrillos y quema de tabaco en general y por supuesto en la combustión o quema de carbón mineral o vegetal, de tal forma que los HAP se encuentran por ejemplo en los asados hechos al carbón (Langley-Danysz, 1984; PNUMA, 1976).

Generalmente el BaP se adsorbe sobre las partículas de hollín al igual que la mayor parte de los HAP. Posteriormente, en la atmósfera urbana, el BaP se oxida en presencia de ozono produciendo anhídridos, carboxilatos, dicarboxilatos, diacetatos, fenoles y quinonas. Los compuestos HAP pueden reaccionar para formar otros compuestos biológicamente activos en el esmog urbano. Ambos, el BaP y el perileno (otro HAP), reaccionan para formar derivados nitrogenados que son mutagénicos y por lo tanto posiblemente carcinógenos. Es significativo señalar que por ejemplo el perileno no es normalmente ni mutagénico ni carcinógeno, pero bajo condiciones que conducen a la formación del esmog el perileno forma el 3-nitro-perileno que sí es mutagénico (Manahan, 1984).

Dietilestilbestrol (DES). - Es una hormona sexual femenina sintética que ha sido utilizada ampliamente por los productos de carne de pollo (1950) y vacuna (1954) para engordar a los animales y hacer suave su carne, a sabiendas de su potencial carcinogénico (Berry et al., 1974). Desde fines de la Segunda Guerra Mundial se ha utilizado en miles de mujeres, bajo supervisión médica, como un medicamento para evitar los-

abortos en mujeres embarazadas que tienen problemas en la fijación del producto ( Clark et al., 1976)

Desde hace años se sabe que causa cáncer vaginal en las mujeres expuestas in utero es decir, en hijas de mujeres a las que les ha sido administrada la droga, mediante un proceso de carcinogénesis transplacentaria que puede manifestarse hasta muchos años después ( PNUMA, 1976). Los primeros reportes confirmados del cáncer inducido en fetos humanos por el DES, fueron publicados en 1971 ( Holdgate et al., 1982). Desde entonces, se han registrado cientos de casos de adenocarcinoma celular y el número se incrementará mientras la sustancia siga utilizándose en países como México en donde su recomendación es práctica común entre los gineco-obstetras.

Cloruro de vinilo. - Es un constituyente básico de la fabricación del cloruro de polivinilo; ya para 1978 se producían 20 millones de TM anuales. En 1970, Maltoni y Lefimine describieron que podía causar una variedad de tumores malignos en ratas, como carcinomas de riñón, piel, cerebro y un tipo particularmente raro de cáncer de hígado llamado hemangiosarcoma; posteriormente se descubrió este último con trabajadores que habían estado expuestos a elevadas concentraciones (Waldbott, 1978; Holdgate et al., 1982).

En un estudio realizado por Selikoff, en 1975, se encontraron los siguientes tipos de cáncer entre 25 trabajadores expuestos al cloruro de vinilo por 5 o más años: hemangiosarcoma -- del hígado, neoplasmas de los tejidos linfático y hematopoyético, cerebro ( glioblastoma), páncreas, colon, huesos y cirrosis (con vrices en el esófago, El-Hinnawi y Hashmi, -- 1982).

Todos estos resultados han confirmado hoy día la carcinogénesis de la exposición al producto. La preocupación -- mayor proviene del hecho de que el monómero del cloruro de vinilo es la materia prima de la producción del PVC, el -- plástico tal vez más usado en el mundo; Waldbott (1978) -- calcula que una tercera parte de la humanidad está diaria - mente expuesta a estas sustancias en alguna forma. Sus múl - tiples usos comprenden: hojas, película para envolver ali - mentos, regalos y otros, discos, implementos deportivos, mo - biliario, botellas, juguetes, y miles más. Además se usa en aerosoles de donde alcanza el aire atmosférico y se puede - liberar a los cuerpos de agua a través de las tuberías he - chas con este material.

Aditivos alimentarios. - Ya para 1972 se usaban cerca de --- 2,500 productos químicos como aditivos de los alimentos, pa - ra mejorar el color, reforzar el sabor, proteger su valor nutritivo, hacerlos crocantes, preservarlos y muchos otros usos. De hecho, todos los aditivos pueden dividirse en cin - co grandes grupos: colorantes, saborizantes, preservativos, agentes texturizantes y miscelánea ( humectantes, antiqru - mos, cristalizadores, espumantes, afirmantes, crispantes, - clarificantes, solventes, etc., Kermodé, 1972). De ellos - se ha hablado mucho en los últimos años debido a que se han en - contrado relaciones con algunos daños a la salud humana: el colorante rojo 2 fue removido del mercado en los Estados - Unidos debido a que provocaba cáncer en las ratas (Winter, - 1978). La sacarina ha sido cuestionada por el mismo concep - to; uno de los reforzadores del sabor más ampliamente utili - zados, el glutamato monosódico, se sigue usando a pesar de - que la evidencia de laboratorio lo liga con la enfermedad - de Kwck, entumecimiento de los músculos de la cara y el cue - llo acompañado ocasionalmente de dolor de cabeza, náusea y vértigo (Kermodé, 1972).

Sin embargo, la atención se ha centrado recientemente en los nitratos y nitritos usados en las carnes curadas (embutidos) y en la conservación de pescado en algunos países. El nitrito se utiliza en la curación de carnes para obtener el color rosado (jamones y otros) y el sabor característico de las carnes curadas. Si bien para obtener un color satisfactorio, por un lapso limitado, basta con un contenido de nitrito inferior a 5 mg/kg de carne, bien puede ser necesario utilizar hasta 20 mg/kg para producir una estabilidad comercialmente aceptable del color, y hasta 50 mg/kg aproximadamente para obtener el sabor característico (OPS, 1980a). No obstante - haberse reducido grandemente el contenido de nitritos en los Estados Unidos, en los últimos decenios la mayor parte del tocino se prepara aún con una proporción de nitrito sódico de 120 mg/kg, otros productos son curados con 200 mg/kg y la mayoría de los productos picados o molidos (carnes para hot dog y hamburguesas) con 156 mg/kg (RIPQPT, 1983).

Una consecuencia importante de la adición deliberada de nitratos y nitritos a los embutidos y carnes enlatadas es la protección biológica que éstos proveen. Los óxidos de nitrógeno retrasan la deterioración microbiana, al inhibir el crecimiento de una serie de microorganismos, en particular de las bacterias anaeróbicas que forman esporas; en asociación con otros componentes de la mezcla salina empleada para curar las carnes, ejercen un efecto antimicrobiano contra diversos organismos - que depende de su concentración en los productos - curados - incluida la formación de esporas de Clostridium botulinum que produce el fatal botulismo, y de otros clostridios. Sin embargo, en condiciones de contaminación excesiva o de prolongación indebida de temperaturas inconvenientes, los nitritos no consiguen prevenir indefinidamente ese desarrollo con lo que a fin de cuentas los alimentos pueden estropearse o producir toxinas.

Los nitritos pueden también contribuir a la eliminación -- de otros agentes patógenos como Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, Clostridium perfringens y C. welchii, en función de una serie de factores: su concentración, condiciones ambientales y el tipo de producto alimentario. No obstante, por lo general no se considera que los nitritos sean un factor fundamental en la lucha contra esas bacterias.

Otra propiedad de los nitritos es su capacidad de inhibir la oxidación de los lípidos (ranciedad) en las carnes curadas, es posible que ello, junto con su reacción química con la mioglobina para producir el color rojizo o rosado, sea parte importante de su atractivo comercial. Lo mismo podría decirse de su contribución al sabor, sobre todo en los jamones y sus productos.

Las pruebas de carcinogenicidad obtenidas mediante experimentos realizados correctamente en animales de laboratorio, deben considerarse como indicativas de cierto potencial para la carcinogénesis en el hombre. Ello es particularmente cierto cuando los resultados de las investigaciones han demostrado efectos carcinogénicos en varias especies, como ha ocurrido con los compuestos N-nitrosos de los que se ha comprobado que producen cáncer en gran número de especies animales (RIPQPT, 1983).

Ello se debe a la formación de estos compuestos N-nitrosos en los siguientes casos:

- en las carnes enlatadas los nitratos pueden desoxidarse convirtiéndose en nitritos, los que reaccionan con componentes amínicos para formar los compuestos N-nitrosos que figuran entre los más potentes carcinógenos animales conocidos (PNUMA, 1976).



- hay evidencias que sugieren la formación de nitrosaminas ( N-nitrosos) durante la cocción de carnes que contienen nitritos como aditivos (Manahan, 1984)
- los nitritos pueden interactuar con sustratos como las aminas o las amidas para producir compuestos -- N-nitrosos que pueden entonces contaminar los alimentos conservados ( RIPQPT, 1983).
- las nitrosaminas son fácilmente formadas por las reacciones de las aminas con los nitratos, bajo condiciones de acidez, tal y como ocurre en el estómago -- (Holdgate et al., 1982)

La actividad carcinogénica de los compuestos N-nitrosos ha sido ampliamente documentada y confirmada; se ha demostrado que varias especies animales incluyendo peces, anfibios, aves y mamíferos, son susceptibles a la acción carcinogénica de las nitrosaminas.

En la actualidad se han probado 80 nitrosaminas y 23 --- nitrosamidas en ratas, y cerca del 80% de las primeras y prácticamente todas las segundas resultaron carcinógenas específicas por órgano. Las nitrosaminas producen efecto carcinogénico en hígado, esófago, sistema respiratorio y riñón (principalmente, ya que hay otros diez tipos de neoplasmas); mientras que las nitrosamidas afectan más al sistema nervioso central y periférico y a los órganos del sistema gastrointestinal - nal ( y ocasionan otros 16 tipos de tumores, OPS, 1980a).

Para concluir esta breve reseña sobre la acción de los -- óxidos y compuestos de nitrógeno señalemos una de las once -- conclusiones emitidas por el Comité de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos encargado de estudiar el problema: --

" Dado que los nitratos y nitritos pueden provocar efectos tóxicos agudos, tales como la metahemoglobinemia, y pueden contribuir probablemente en medida considerable a la carga orgánica total de compuestos N-nitrosos, que son carcinógenos en los animales de laboratorio y pueden serlo para el hombre, el Comité recomienda que se reduzca la exposición del ser humano a esos agentes. La exposición a los nitritos debería reducirse en la medida en que lo permita la necesidad de proteger a los consumidores contra el botulismo. El Comité recomienda además, que con la excepción de los productos curados en seco y de los embutidos fermentados, en los que la presencia de nitratos puede ser necesaria, se dejen de utilizar sales de nitrato en el proceso de curado de todos los productos cárnicos y de aves de corral" ( RIPQPT, 1983).

Anticonceptivos anabólicos.- durante mucho tiempo se ha discutido sobre la posible acción carcinogénica de la "píldora"; en años recientes se han descrito un número importante de tumores cancerosos vasculares causantes de hematomas en el hígado en mujeres jóvenes que toman anticonceptivos orales. El curso de estos neoplasmas ha sido en general benigno salvo por los casos fatales del carcinoma maligno hepato-celular.

Estudios epidemiológicos han mostrado un incremento de 4 a 10 veces en el riesgo de carcinoma endometrial (cáncer del tejido que recubre el útero) asociado con el uso de estrógenos en los períodos menopáusicos y posmenopáusicos (Holdgate et al., 1982).

Por otra parte, se han reportado diversos casos de carcinoma hepato-celular ( neoplasma del hígado) en pacientes sujetos

por largo tiempo a terapia de esteroides anabólicos androgénicos, y aunque aún no se establece el nexo, hay una implicación de que las terapias a largo plazo con los esteroides alquilados C-17 pueden suponer el riesgo de inducción de tumores hepáticos, por lo que parece poco aconsejable el uso de esteroides anabólicos por los atletas (Holdgate et al., 1982)..

Productos químicos inorgánicos: asbestos. → el asbestos no es un solo material, es un nombre genérico para una cierta variedad de minerales fibrosos. Los minerales de asbestos se encuentran en casi todos los países del mundo pero sólo unos pocos tienen valor comercial, el más importante de estos minerales es el crisotilo (asbestos blanco) o silicato de magnesio hidratado que comprende más del 90% de la producción mundial (Berry et al., 1974); otras variedades importantes son: la crocidolita (asbestos azul) y la amosita (asbestos café).

Las propiedades que hacen tan útiles, y por ende importantes, a estos minerales son: resistencia al calor, a la fricción y a los ácidos, su flexibilidad y su gran resistencia a la tensión (comparable a la del acero), además son relativamente baratos. Casi dos terceras partes de su producción (más de 4 millones de TM en 1970, Jensen y Bateman, 1981) se usan combinadas con cemento, ya que la mezcla asbestos/cemento resiste mucho mejor el intemperismo que el cemento solo.

El asbestos tiene una multitud de usos (más de 5 mil, Manahan, 1984) entre ellos: recubrimiento de estructuras de acero en la construcción de edificios para protegerlas del fuego, ropa de bomberos, guantes contra el fuego, cortinas

y escenarios de teatro, recubrimiento de paredes, en alfombras, equipos de soldadura, aisladores de calor de usos múltiples, cuerdas de asbesto, ductos para conducir agua, tinacos, material de construcción para techos, en hornos y calentadores de agua, equipos eléctricos, en la composición - como adherente - de materiales para porcelanas, emplastos, hule duro, discos fonográficos, etc. Uno de sus usos más comunes y conocidos es en las balatas y frenos de automotores, como recubrimiento de ductos de ventilación en sistemas de aire acondicionado, e incluso, en la fabricación de talcos ( los talcos comerciales contienen un 20% de asbestos), productos de papel, filtros para máscaras contra gases y para laboratorios químicos y farmacéuticos ( Berry et al., 1974; Waldbott, 1978; Jensen y Bateman, 1981) .

Todo ello ha traído como consecuencia una contaminación casi universal por asbestos, las calles y avenidas de alto tráfico en las grandes ciudades presentan elevadas concentraciones debido al desgaste de los recubrimientos del embrague y balatas de coches y camiones; se han encontrado asbestos en la cerveza, vinos, refrescos, agua de la llave y por supuesto en los cigarrillos, e incluso en medicamentos inyectables. En Japón se añade talco al arroz, esto podría explicar tal vez los elevados índices nipones de cáncer estomacal. Por supuesto existe también una gran contaminación aérea; de mediciones realizadas en diversas ciudades americanas, se obtuvieron datos de 0.01 a 0.1  $\mu\text{g}$  de asbesto/ $\text{m}^3$  de aire, ya que el aire de las ciudades contiene entre 75 a 200  $\mu\text{g}$  de materia particulada por metro cúbico; parecería que el asbesto se encuentra en muy pequeña proporción, no obstante, los fragmentos de asbesto son tan pequeños que 0.1  $\mu\text{g}$  puede representar 100 millones de pequeñas fibras, cada una capaz de dañar el tejido corporal. (Berry et al., 1974).

No todas las fibras que aspiramos van a dar a los pulmones, algunas son detenidas por las vellosidades de la nariz o los pequeños bronquiolos, pero aquéllas de menos de 200µm de largo y 3.5 µm de diámetro pueden entrar en los pulmones. El problema es que una vez que lo hacen, no son expelidas - ni disueltas o absorbidas sino que permanecen ahí, es decir, que una vez que la fibra penetra al organismo el riesgo potencial para el surgimiento del cáncer continúa toda la vida. La primera enfermedad reconocida, cuyo agente causal es el asbesto, fue precisamente la asbestosis, la que produce una fibrosis difusa en los lóbulos inferiores de los pulmones y en años más recientes, el cáncer pulmonar.

Nadie sabe con exactitud su mecanismo carcinógeno, aun que hay tres hipótesis principales de explicación:

- 1) las fibras aspiradas actúan como irritantes físicos que con los años inducen un tumor
- 2) las fibras son portadoras de carcinógenos químicos; se ha verificado en efecto que el níquel, cromo y BaP son llevados por las fibras de asbestos a los pulmones y otros órganos
- 3) las fibras se acumulan en los pulmones formando --- cuerpos asbestosos ( fibras cubiertas de material ferroso), después de años de acumularse se desintegran liberando las finas partículas que causan cual quiera de las dos enfermedades señaladas.

Independientemente del mecanismo, lo cierto es que hay una fuerte relación de causalidad entre el cáncer y la exposición a las fibras por los trabajadores de este material y de hecho, en los últimos años, se ha señalado al asbesto como uno de los principales carcinógenos ambientales.

En enero de 1986 la APA de los Estados Unidos , declaró que ningún nivel de exposición - por bajo que éste sea - se encuentra libre de riesgos ( Powell et al., 1986). E incluso se ha sugerido que el asbesto debe tratarse como un Veneno y que debe evitarse todo contacto posible con él (Berry, et al., 1974). Hay formas particularmente insidiosas de contaminación, por ejemplo, hoy se sabe que una forma rara de - cáncer, el mesotelioma de la pleura y el peritoneo, se encuentra principalmente entre personas que han trabajado con asbesto azul incluso 40 años atrás, y se conocen casos entre los familiares de trabajadores del asbesto, los cuales llevan probablemente el polvo tóxico en sus ropas a sus hogares, y se dan ocurrencias también entre personas que vivieron alguna vez a uno o dos kilómetros de distancia de una fábrica del material pero que nunca trabajaron en ella ( PNUMA, 1976).

Existe una marcada relación entre asbestosis y neoplasmas, ya en 1947 se descubrió que más del 50% de los pacientes que habían sufrido asbestosis murieron eventualmente de cáncer -- pulmonar. Además de los anteriores el asbesto produce también cáncer de laringe ( Manahan, 1984).

Por supuesto aquí también se presenta el efecto sinérgico con otros carcinógenos, se han reportado incrementos que van de 30 a 90 veces en la incidencia de cáncer entre los trabajadores del asbesto, que fuman, en relación a los no fumadores ( Waldbott, 1978; Dulbecco, 1983). Algunos expertos creen que la probabilidad de desarrollar cáncer es proporcional a:

- el número de fibras de asbesto
- número de células susceptibles
- concentración de las sustancias contaminadoras portadas sobre las fibras
- tiempo de exposición (Berry et al., 1974)

La situación se ha agravado en años recientes debido a - la creciente aparición de tumores de mesotelioma pleural y - calcificaciones pleurales en poblaciones expuestas a fibras naturales diferentes de los asbestos; e incluso existe la posibilidad de que fibras minerales fabricadas por el hombre, - con propiedades similares al asbesto, puedan ser carcinógenas (Holdgate et al., 1982).

Por ejemplo, Bayliss et al., del Departamento de Salud - de los Estados Unidos encontraron, ya en 1976, una relación - significativa a nivel de umbral entre el cáncer del tracto - respiratorio y las fibras de vidrio de diámetros pequeños; - éstas difieren del asbesto debido a que los pulmones incre - mentan la permeabilidad de la membrana celular de los macró - fagos y son por lo tanto menos citotóxicas para estas célu - las que las fibras de asbesto. No obstante, las fibras de - 2  $\mu$ m o menos, que comprenden un 20% del total, alcanzan los - pasajes aéreos inferiores en donde pueden causar irritación - mecánica al tejido pulmonar, lo que eventualmente podría conducir al desarrollo de un neoplasma (Waldbott, 1978).

Metales.- aunque el arsénico no es un metal, tiene muchas de las propiedades de un metal pesado y sus efectos tóxicos nos recuerdan los del mercurio y el plomo, los más tóxicos son - los compuestos de arsénico ( V ) o arseniatos. Originalmente la contaminación por arsénico se restringía a las zonas - industriales de fundición de oro, cobre y otros metales; la - quema de carbón mineral libera de 0.08 a 16.0  $\mu$ g de arsénico por gramo de carbón; posteriormente se ha usado como herbici - da aplicándose alrededor de postes, cercas, puentes, estacion - es de radar, canchas de tenis, carreteras y otras áreas no - agrícolas, pero aunque la aspersion de arseniato de plomo se ha

reducido mucho en viñedos debido a su sustitución por pesticidas orgánicos, aún se usa el arseniato de sodio como desfoliador en cultivos de papa. Algunos compuestos arsenicales son usados como promotores del crecimiento en cerdos y aves de corral ( ácido arsanílico y ácido arsánico 3 nitro, 4 -- hidroxifenil), también se encuentra en los fertilizantes, y -- debido al depósito seco de los humos de las fundiciones a cierta distancia, el arsénico ha contaminado también los cuerpos de agua de muchas regiones ( Pim , 1981).

Los tres principales efectos bioquímicos conocidos del -- arsénico son:

- coagulación de las proteínas
- complejación con coenzimas
- inhibición de la producción de ATP (Manahan, 1984).

Ya Hueper, en 1963, reconoció al arsénico como causa de cáncer en la piel, pulmones e hígado, originalmente se detectó primero el cáncer de pulmón en los trabajadores de viñedos, en Alemania, que trabajaban con arseniato de plomo, recientemente se han reportado efectos mutagénicos del trióxido de arsénico -- sobre los linfocitos humanos, lo que califica a este elemento -- dentro de los agentes carcinógenos ( Waldbott, 1978). De -- acuerdo con el PNUMA, el arsénico provoca también cáncer en -- el tracto respiratorio ( PNUMA, 1976).

El níquel es un metal grisáceo, resistente a la corrosión y a la oxidación por lo que se usa mucho en la fabricación del llamado oro blanco, en los aceros inoxidables y en la carrocería de automotores y otros mediante el proceso de niquelado -- por electrodeposición.



Las fuentes principales de níquel aéreo comprenden la minería y la fundición, aunque también se encuentra en la crisolita en un intervalo de 1.5 a 1.8 mg/gr (cerca del 1500 ppm), en las cenizas del carbón con concentraciones de 3 a 10 mg/gr, en cenizas aéreas de la quema de diesel de 1.8 a 13.2 mg/gr, y en los cigarrillos en trazas. El óxido de níquel se libera de la operación de incineradores municipales; el sulfuro de níquel y el carbonilo de níquel son carcinógenos importantes, éste último se forma de la reacción del níquel con el monóxido de carbono, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura (Waldbott, 1978).

El níquel se encuentra también en los fertilizantes orgánicos (especialmente en los derivados de lodos de alcantarilla), depósito seco de las fundiciones de níquel, en el ambiente urbano proveniente del desgaste de las partes automotoras niqueladas, de las descargas efluentes de plantas de niquelado, en los catalizadores base níquel usados en la hidrogenización de aceites comestibles, en el procesamiento de alimentos con acero inoxidable y otros (Pim, 1981).

Ciertos alimentos también contienen níquel: el trigo (6.4 ppm) y otros cereales contienen las mayores cantidades, las legumbres, té y cocoa lo contienen en menor proporción así como peces y carne de ganado vacuno en pequeñas cantidades. En cuanto al aspecto alimentario acaso la mayor contaminación proviene de su preparación en recipientes de níquel o oxidables, polvos de hornear, sidra y cereales para el desayuno. Se ha reportado que el níquel provoca cáncer en los pulmones y en la cavidad nasal después de una exposición crónica que no se da en el ambiente normal (PNUMA, 1976; Waldbott, 1978).

Otro metal que provoca cáncer es el romo, el metal en sí es estable y relativamente no-tóxico, no obstante los compuestos hexavalentes solubles en agua son extremadamente --- irritantes, corrosivos y tóxicos para los tejidos corporales. Al igual que el níquel se encuentra en la industria de cromado, en los aceros inoxidables, pinturas y tintas base cromo, en catalizadores base cromo usados en la hidrogenación de grasas solubles y en fertilizantes fabricados a partir de lodos de alcantarilla. Acaso la fuente de contaminación más común sea la preparación de alimentos en materiales inoxidables y su procesamiento y almacenaje en los mismos ( Pim, 1981).

El cromo está presente en todos los tejidos humanos, con un nivel máximo de concentración al nacimiento, y disminuye en todos los órganos durante la vida de las personas, no obstante, el tracto respiratorio y el tejido graso lo acumulan. El cromo es esencial como elemento traza para el metabolismo de azúcares y grasas, pero en concentraciones elevadas, como aquéllas que enfrentan los trabajadores de las plantas de cromado y probablemente en la industria metalúrgica en donde se producen las aleaciones inoxidables en base cromo, se presentan diversos daños al organismo:

- perforación del tabique nasal
- úlceras y atrofia de las mucosas de la nariz
- catarro crónico, congestión de la laringe
- pólipos en el tracto respiratorio
- inflamación crónica en los bronquios
- en ocasiones, bronconeumonía

todas estas manifestaciones constituyen el precursor del cáncer del tracto respiratorio, que comprende: cáncer en cavidad nasal, senos nasales, pulmón y laringe (Waldbott, 1978; -- El-Hinnawi y Hashmi, 1982).

El dióxido de torio, que se ha usado en reactores nucleares y como medio opaco para imágenes de rayos X (aunque ya no se emplea más en ello), es un agente causativo específico del hemangioendotelioma, una forma de cáncer hepático (Manahan, 1984).

Otros metales implicados en la génesis del cáncer son: el cadmio (Peto, 1981; Berry et al., 1984); los óxidos de hierro (El-Hinnawi y Hashmi, 1982) y el selenio (Pim, 1981).

Agentes biológicos: aflatoxinas.- las micotoxinas son especies químicas que parecen no tener una función específica en los hongos que la producen, pero son tóxicas en varios grados para aves y mamíferos, incluyendo al hombre. Los cinco géneros productores principales de micotoxinas son: Aspergillus, Fusarium, Alternaria, Cladosporium y Penicillium (Pim, 1981). Hay cuatro clases principales de micotoxinas: - aflatoxinas, ocratoxinas, zearalenonas y tricotesenos; aunque hay evidencia de los efectos tóxicos de todas ellas en animales, y de las tres primeras en el hombre, aquí sólo revisaremos algunos aspectos relevantes de las aflatoxinas (WHO, 1979a).

En 1960 más de 100 mil pavos jóvenes murieron en Inglaterra después de haber comido alimento preparado en base a cacahuates contaminados con aflatoxinas; éstas son producidas por ciertas cepas de Aspergillus flavus y A. parasiticus, y aunque se han aislado 17 compuestos como aflatoxinas, el término se refiere comúnmente a cuatro compuestos del grupo de los metabolitos bis-furanocumarinas producidas por las dos especies señaladas, se denominan: B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> y con frecuencia se presentan simultáneamente (WHO, 1979a; Holdgate et al., 1982).

La formación bioquímica de las aflatoxinas es interesante debido a que son metabolitos secundarios que, como hemos dicho, no tienen uso aparente en el organismo que las produce, en contraste con los metabolitos primarios esenciales tales como los carbohidratos, proteínas, ácidos nucleicos y lípidos. Se cree que los metabolitos secundarios se forman de los mismos precursores de los primarios, tales como acetato, malonato, piruvato y aminoácidos, cuando estas sustancias se encuentran acumuladas en exceso. Además de las micotoxinas, como las aflatoxinas, otros ejemplos de estos metabolitos son: los alcaloides, antibióticos y pigmentos -- (Manahan, 1984).

La investigación de las micotoxinas se ha centrado en las aflatoxinas debido a que son uno de los más potentes carcinógenos que se conocen. La aflatoxina  $B_1$  es el carcinógeno hepático más potente, produciendo tumores en animales de laboratorio al más bajo nivel analítico detectable de 1 ppb (Pim, 1981 ; Holdgate et al., 1982) y uno de sus metabolitos, la aflatoxina  $M_1$  (metabolito hidroxilado de  $B_1$ ) es también carcinógena y es secretada en la leche de los animales que se alimentan de dietas contaminadas, también se ha detectado en la orina de personas que comen alimentos contaminados con aflatoxinas. En Africa se ha demostrado una clara correlación entre la incidencia de cáncer primario de hígado y la ingesta de alimentos que incluyan la micotoxina (WHO, 1979a; Holdgate et al., 1982).

Las diversas aflatoxinas, incluyendo la más común producida por A. flavus:  $B_1$ , son sintetizadas en condiciones apropiadas de humedad (9-18.5%) y temperatura (12-42°C), y pueden contaminar virtualmente cualquier grano, fruta o vegetal (WHO, 1979a). Aunque su incidencia es mayor en zonas tropicales y

subtropicales ( por ejemplo en Africa), también se han reportado casos en zonas templadas. Según la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos, se podrían desarrollar 66 casos de cáncer por cada 100 mil personas, de la ingesta normal de productos de cacahuete y maíz contaminados con aflatoxinas, en los Estados Unidos. Se sabe también que la sustancia es teratogénica y mutagénica. Entre los alimentos más frecuentemente contaminados están: nueces de Brasil, maíz, trigo, soya, semilla de algodón, arroz, especies de condimento, pimientos, chícharos, los ñames y por supuesto los cacahuates que parecen ser especialmente vulnerables ( WHO, 1979a; Pim, 1981).

Virus.- De los diversos virus que existen en el ambiente se ha sospechado que un cierto número podrían ser cancerígenos para los humanos. Los dos más conocidos que han mostrado estar relacionados causalmente con el cáncer son:

- virus de la hepatitis -B que produce cáncer del hígado
- virus Epstein-Barr (herpes) que produce el linfoma de Burkitt (Holdgate et al., 1982)

Otros cánceres que parecen estar asociados con infecciones de virus-herpes son: el carcinoma nasofaríngeo y tal vez el cáncer del cuello del útero ( El-Minnawi y Hashmi, 1982).

Dieta.- durante años se cuestionó la posibilidad de una correlación entre la emergencia de ciertos tipos de cáncer y la dieta. Actualmente, los investigadores ya no titubean para sugerir que más de una tercera parte de los casos de cáncer en el hombre y casi dos terceras partes en la mujer están relacionados directamente con la alimentación.

Las hipótesis se relacionan cada vez más no sólo con los posibles cancerígenos químicos y biológicos presentes en los alimentos o desarrollados durante su cocción (HAP en cocidos a las brasas), sino también con los mismos tipos de alimentos y los desequilibrios en su consumo: por ejemplo - demasiadas calorías y grasas, insuficientes fibras y vitaminas.

Salvo en el caso de las especies químicas que hemos revisado (BaP, etc.) y otros (aflatoxinas) la correlación que se establece entre cáncer y dieta se basa - únicamente - en indicaciones de tendencias puestas de manifiesto en los registros de morbilidad o de encuestas epidemiológicas ( -- Langley-Danysz, 1984).

En su gran mayoría, los neoplasmas de posible etiología alimentaria son tumores que afectan a los tejidos epiteliales del tubo digestivo y de los epitelios glandulares, como los de la mama, próstata, páncreas, endometrio (útero) y -- vesícula biliar ( Peto, 1981)

De los datos contenidos en encuestas se ha observado que en los países pobres, donde la gran mayoría de la población se alimenta de cereales hervidos con legumbres, con poca -- carne y materias grasas, la incidencia de algunos carcinomas es hasta diez veces menos elevada que en los Estados Unidos, donde el consumo de carne y grasas animales es uno de los -- más elevados del mundo. Las encuestas implican a la sobre -- alimentación en las elevadas frecuencias del cáncer del tubo digestivo y de mama. También señalan (O'Gregor et al., 1969, citado por Langley-Danysz 1984) que el aumento total de calorías en la dieta está directamente relacionado con el cáncer de colon e inversamente con el de estómago.

En 1979, K. Carroll y H. T. Khor publicaron los resultados de una encuesta de trece años con 750 mil norteamericanos de los dos sexos, a partir de ellos se demostraba la asociación entre un sobrepeso del 20% (evaluado en función de la talla y la edad) y la aparición de un carcinoma, especialmente entre las mujeres. La mortalidad por el cáncer era significativamente más elevada entre individuos con sobrepeso de 40%. Otras estadísticas señalan que los países donde el consumo individual de materias grasas de origen animal es más alto (más del 40% de la ración alimentaria) son también aquellos donde la incidencia del cáncer de mama es más elevada. La misma correlación se vuelve a encontrar entre el cáncer de mama y el consumo medio de azúcar por habitante. En lo que se refiere a la carne - particularmente la de ganado vacuno - la relación más significativa es con la frecuencia de cáncer de colon. E incluso, se ha establecido una correlación, aunque menor, entre consumo de grasas y la incidencia de cáncer de páncreas y próstata (Langley-Danysz, 1984).

En cuanto a la ingesta de bebidas alcohólicas la situación es parecida a la dieta en cuanto a las correlaciones estadísticas, que son la fuente principal de información. " Se sabe -- desde hace tiempo que las personas que sirven en el mostrador de un bar tienen muchas más posibilidades de desarrollar un cáncer de esófago y cirrosis hepática que el promedio " (Muir, 1981), es decir que los riesgos parecen aumentar al incrementarse la ingesta.

El abuso de alcohol se ve acompañado de desequilibrios alimentarios, su consumo reemplaza al de elementos nutritivos, lo que provoca varias deficiencias nutricionales cuyo efecto puede conjugarse con el del mismo alcohol. El consumo excesivo se encuentra relacionado directamente con el cáncer de las vías

aerodigestivas: boca, faringe, laringe, esófago, y tiene un efecto sinérgico con el humo del cigarrillo para el cáncer del pulmón. Las encuestas epidemiológicas sobre estas formas de cáncer detectan casi siempre abuso de alcoholes - más fuertes que el vino y, a menudo, alcoholes preparados - artesanalmente en una sola etapa de destilación (Langley - Danysz, 1984).

En la baja Normandía, donde la tasa del cáncer de esófago es anormalmente elevada en el sexo masculino en comparación con la media nacional, H. J. Tuyns et al. mostraron en 1979 que la causa del elevado riesgo de cancerización del epitelio del esófago es muy probablemente el alcohol de manzana destilado en forma casera.

En China, hace unos 30 años el cáncer de esófago representaba cerca de la mitad de los cánceres de tipo digestivo. Trabajos realizados por Lee y Fong en 1979 y por Nagao et al., en 1981, sobre unos 20 alcoholes chinos tradicionales con más de 20° pusieron de manifiesto la presencia de sustancias mutágenas; otras investigaciones prueban también la existencia de alguna actividad mutagénica en algunos alcoholes de cereales producidos en el Japón (schochu), en Escocia y Estados Unidos (Whisky, Langley-Danysz, 1984).

Los síntomas iniciales más comunes del cáncer de esófago son la disfagia (dificultad para tragar) y la pérdida de peso. Las metástasis se producen pronto, especialmente en el pulmón y en el hígado. El pronóstico es extremadamente malo (Berkow, 1978).



Tabaco.- la presión para que se adquiriera el hábito de fumar se concentra en los grupos más jóvenes, de entre 11 y 18 -- años. Aunque un cierto porcentaje de niños y niñas empieza a hacerlo entre los ocho y nueve años si a los 20 años no se es fumador, son muy pocas las posibilidades de llegar a serlo más tarde, y una vez que el hábito ha arraigado es difícil desprenderse de él:

- entre los consumidores de alcohol sólo uno de cada diez tiene que beber forzosamente todos los días
- entre los adictos a la morfina de cuatro a seis de cada diez son consumidores cotidianos compulsivos
- pero entre los fumadores la proporción es de nueve a diez

Hoy se sabe que aproximadamente una tercera parte de los fumadores habituales se iniciaron antes de los nueve años de edad y se estima que un 80% de los niños que fuman con regularidad se convertirán en fumadores habituales cuando lleguen a la edad adulta ( Willard, 1986).

En México se ha llevado a cabo una serie limitada de encuestas tendientes a indagar los índices de tabaquismo en -- diferentes sectores de la población, estos estudios indican que fuma alrededor del 50% de los mexicanos y que por cada -- cuatro fumadores, tres son del sexo masculino, aunque la incidencia en las mujeres se ha incrementado en la última década ( Rubio y Selman, 1987).

El consumo de tabaco por habitante en 1976, expresado en kilogramos de hoja seca, era ya en los siguientes países se -- leccionados:

Polonia	2.97	URSS	1.55
Canadá	2.84	Suecia	1.43
Japón	2.57	Colombia	1.36
Estados Unidos	2.50	Brasil	1.27
Cuba	2.40	Iraq	1.09
Argentina	2.34	Tailandia	1.07
Francia	2.15	México	0.75
Inglaterra y España	1.90	India	0.38
Italia	1.70	Nigeria	0.13

Fuente: FAO, 1979, citado en Forbes y Thompson, 1980.

El consumo de tabaco comprende las diferentes formas en que se quema o mastica, si sólo tomamos los cigarrillos, los datos alteran un poco su orden aunque los efectos terminales no varíen; consumo anual de cigarrillos per capita:

Estados Unidos	4,000	Japón	2,810
Inglaterra	3,050	India	190

(Seshadri, 1980)

Podemos considerar que en general la mayor cantidad de tabaco se consume a través del hábito de fumar cigarrillos, esta acción produce un humo resultado de la combustión del tabaco ( Nicotina tabacum ), y de otros productos que se añaden durante la fabricación del cigarrillo: azúcar, regaliz, glicerina, cumaru, melaza y muchos otros ( Seneviratne, -- 1980), que consiste de una mezcla de gases y de gotitas diminutas (aerosoles) de alquitrán.

Se han identificado casi 1000 componentes del humo de los cigarrillos; aunque unos de estos componentes son filtrados - conforme el humo pasa por el tabaco sin quemar, son redestilados al avanzar el ascua ardiente ( a casi 700°C), y el humo de cada chupada sucesiva se vuelve más concentrado. El humo del cigarrillo es menos irritante que el de la pipa o el de los cigarros puros y es más probable que sea inhalado (Berkow, 1978).

Las sustancias de importancia para la salud, contenidas en el humo pueden separarse en cuatro principales grupos:

- carcinógenos y co-carcinógenos, que se encuentran en el alquitrán, por lo menos se han registrado diez hidrocarburos en el alquitrán del tabaco que producen cáncer en animales de laboratorio, particularmente el BaP. Los carcinógenos (principalmente alcoholes aromáticos policíclicos) inician la formación de cáncer. Los co-carcinógenos ( con inclusión de fenoles, ácidos grasos y ácidos grasos libres) aceleran la producción de cáncer por otros iniciadores, es decir, actúan como promotores. Los fenoles presentes en el tabaco tienden a destruir la acción protectora de los cilios del tracto respiratorio, aunque en sí no son carcinogénicos potencian la acción del BaP
- irritantes, que causan tos y vaso-constricción inmediatas después de cada inhalación del humo, inhiben la acción ciliar del epitelio bronquial y estimulan la secreción mucosa, por ejemplo, el acetaldehído, un fuerte irritante que inhibe la acción ciliar y daña el epitelio del tracto respiratorio superior, se encuentra en la fase vapor del humo del tabaco en concentraciones relativamente altas de 81 µg/40 ml por bocanada.
- nicotina, es un veneno poderoso, del cual hay en cada cigarrillo cerca de 0.5 a 2 mg, comercialmente se vende como insecticida, afecta principalmente al sistema nervioso y probablemente es el responsable de la dependencia farmacológica del fumador. Los efectos que produce son complejos y comprenden la estimulación o sedación, según la dosis y el estado físico y psicológico del fumador. La nicotina afecta indirectamente

la circulación sanguínea porque provoca la liberación de catecolaminas que causan taquicardia, aumento del gasto cardiaco, vaso-constricción y elevación de la presión sanguínea. La nicotina aumenta también la concentración de ácidos grasos libres en suero y la adherencia de las plaquetas, e inhibe la secreción de bicarbonato pancreático .

- gases tóxicos que comprenden:

- ácido sulfhídrico , que es un irritante del tracto respiratorio y puede dañar el sistema nervioso central ( Manahan, 1984).
- ácido cianhídrico , que perjudica la acción de las enzimas respiratorias. Se considera peligrosa la exposición a 10 ppm de este compuesto y la concentración en el humo del cigarrillo es de casi 1,600 ppm
- monóxido de carbono, es un gas incoloro e inodoro que se produce debido a una combustión incompleta de las sustancias carbonosas del cigarrillo, incluyendo el papel

El monóxido de carbono es tóxico para los animales superiores al ser inhalado, su toxicidad es debida a su reacción con la fracción hemática de la hemoglobina para formar carboxihemoglobina. Normalmente, las cuatro moléculas heme que contienen fierro y componen una molécula de hemoglobina, se unen a cuatro moléculas de oxígeno. La hemoglobina toma este oxígeno en los pulmones y lo lleva, en forma de oxihemoglobina, a los capilares de los tejidos en donde se libera. En los tejidos el dióxido de carbono se disuelve en el plasma sanguíneo y es llevado a los pulmones para su liberación, completando el ciclo de la respiración.

La molécula de monóxido de carbono es muy similar en tamaño y forma al oxígeno y es tomada rápidamente por la hemoglobina formando carboxihemoglobina, de hecho la afinidad de aquélla por el monóxido de carbono es más de 200 veces -- mayor que su afinidad por el oxígeno. Incluso, la presencia de sólo una molécula de monóxido de carbono en cualquiera de los cuatro grupos heme de la molécula de hemoglobina, perturba el transporte de oxígeno. La carboxihemoglobina no se disocia tan rápidamente como la oxihemoglobina y el monóxido de carbono reduce la capacidad de disociación de esta última, de tal manera que incluso si parte de la molécula de hemoglobina porta oxígeno, éste no es liberado a los tejidos y por lo tanto tampoco es removido el dióxido de carbono de los migmos. Privado de su aprovisionamiento de oxígeno, el tejido no funciona de manera adecuada, y por lo tanto no se presenta la síntesis de proteínas, lípidos o ácidos nucleicos. Ello se debe a que la glicólisis, sin la fosforilación oxidativa, no puede proporcionar la energía requerida para la síntesis de biomoléculas.

Otros problemas que surgen de la formación y transporte sanguíneo de la carboxihemoglobina se derivan de la acumulación de dióxido de carbono en la corriente sanguínea, lo que provoca su acidificación. En estas condiciones, la células elaboran ácidos pirúvico, láctico y otros, debido a la glicólisis anaeróbica; la condición de acidificación resultante incrementa la dificultad con la que las células aceptan el oxígeno. Más aún, la acidez desnaturaliza o inactiva las proteínas lo que provoca un efecto tóxico celular directo.

El daño al organismo es particularmente grave en lo que atañe al cerebro ya que puede presentarse daño permanente si las células cerebrales dejan de recibir la proporción adecuada

de oxígeno por unos minutos ( Berry et al., 1974; Manahan, - 1984).

A ello se debe que la mayoría de la gente experimente mareos, dolor de cabeza, lasitud y otros síntomas de envenenamiento cuando inhalan aire que contenga 100 ppm de monóxido de carbono durante un cierto tiempo ( Walker, 1971). Los fumadores están particularmente expuestos a ello debido a que normalmente el humo del cigarrillo inhalado contiene de 200 a 800 ppm, la pipa o el puro contienen aún más y por supuesto la concentración es mayor en la colilla. Se ha calculado que los fumadores de una cajetilla de cigarrillos por día, contienen en su sangre de 5 a 7% de carboxihemoglobina, contrariamente al 0.4- 0.5% de los no fumadores. Además, la exposición al monóxido de carbono puede aumentar la formación de ateroma o placa aterosclerótica ( Berkow, 1978).

Uno de los problemas más graves que se han detectado en años recientes se relaciona con las mujeres embarazadas que fuman; se ha visto que las mamás fumadoras pierden a sus bebés durante el embarazo diez veces más que las no fumadoras. Una posible explicación de ello es que el feto recibe menos oxígeno del que debería - considerándolo como un producto evolutivo- debido a la carboxihemoglobina en la sangre de su madre ( Seligman et al., 1985).

Además de los grupos antes mencionados, los cigarrillos, sobre todo los de baja calidad, contienen una cierta diversidad de partículas inorgánicas: arcilla, cuarzo, fibras de silicato de aluminio y fibra de vidrio, etc. (Waldbott, 1978).

Daños a la salud.- incontables estudios han confirmado que la mortalidad debida a las coronariopatías es sensiblemente --

mayor entre los fumadores que entre los no fumadores, que el tabaco contribuye a la morbilidad del cáncer de pulmón y de otras muchas afecciones y que el riesgo es directamente proporcional al número de cigarrillos fumados (Anderson, 1980).

Acaso el mayor riesgo de fumar consiste en la reducción de la esperanza de vida, de acuerdo con la Sociedad Americana para el Cáncer (Stjernswärd, 1981) una persona de 25 años, que fuma dos cajetillas diarias, puede esperar vivir 8.3 años menos que un no fumador de su misma edad, y un estudio realizado en los mismos Estados Unidos, Inglaterra, Japón y Suecia mostró que la reducción puede ser de 5 a 8 años incluso fumando solamente 20 cigarrillos por día, es decir, que se pierden cinco minutos de esperanza de vida por cada cigarrillo que se fuma (Holdgate et al., 1982).

No obstante la enfermedad más relacionada con fumar es el cáncer de pulmón, a tal grado que se dice que el conocimiento más comprensivo de cáncer ambiental es la relación entre los cigarrillos y el cáncer del pulmón, el cual ocasiona más muertes que cualquier otro tipo de cáncer (PNUMA, 1976).

Los carcinomas de pulmón de células escamosas (que con frecuencia derivan de los bronquios mayores y suelen diseminarse por extensión directa y metástasis a los ganglios linfáticos) y de células en grano de avena (células pequeñas indiferenciadas que producen metástasis hematógenas tempranas) están asociados al hábito de fumar. Los estudios epidemiológicos han demostrado, que los hombres que fuman más de una cajetilla/día tienen un riesgo unas veinte veces mayor de desarrollar cáncer de pulmón que los no fumadores. El riesgo es máximo en los que: inhalan, dan más chupadas por cigarrillo, vuelven a encender cigarrillos medio quemados y empiezan a fumar a edad muy joven (Berkow, 1978).

Por lo general, el cáncer de pulmón es incurable, el tratamiento fracasa en más del 90% de los casos. Un estudio -- sobre 28 países industrializados realizado entre 1960 y 1980, demostró que debido al hábito de fumar el total de casos de - cáncer de pulmón en los hombres pasó de 118 a 255 mil (116% de aumento), para las mujeres fue peor aún, ya que las muertes femeninas por cáncer del pulmón se elevaron de 22 mil a 66 - mil, un aumento alarmante del 200% ( Willard, 1986).

Además de este neoplasma, el fumar provoca otros tipos de cáncer:

laringe: los riesgos son de 3 a 17 veces mayores que en los no fumadores

boca : riesgos mayores de 3 a 10 veces, el alcohol - puede sinergizar el cáncer

esófago: 2 a 9 veces, mismo efecto del alcohol

vejiga : 7 a 10 veces, sinergia de riesgos laborales

páncreas: 2 a 5 veces mayores los riesgos que en los no fumadores ( Stjernswärd, 1981).

Otros cánceres relacionados con el cigarrillo aparecen en: - labios, faringe y riñón ( Holdgate et al., 1982).

Algunas enfermedades y problemas al organismo derivados del fumar son:

- en primer término el llamado "síndrome respiratorio del fumador" por Waldbott en 1953, que consiste en - una irritación constante de la garganta, expectora - ción mucosa con la clásica tos del fumador y jadeo, - todo ello conduce a la bronquitis que desemboca en - enfisema pulmonar, los riesgos son de cuatro a veinti - cinco veces mayores en los fumadores; los pulmones se deterioran incluso en el caso de fumadores jóvenes.



- La disposición de los fumadores a la infección broncopulmonar proviene del efecto adverso del humo inhalado sobre los mecanismos de limpieza mucociliar.
- enfermedades cardiovasculares; el hábito acelera la arteriosclerosis y puede duplicar el riesgo de infarto al miocardio, e incrementar el de trombosis coronaria, las causas dominantes son la nicotina y el monóxido de carbono, ya que mientras la nicotina incrementa la demanda cardiaca de oxígeno, el monóxido reduce la habilidad sanguínea para proporcionarla
  - la enfermedad de Buerquers o tromboangitis obliterans; se ha identificado con el tabaco durante años, en ella los vasos sanguíneos capilares estrechados impiden el flujo sanguíneo a las extremidades, lo que eventualmente conduce al desarrollo de gangrena en dedos y tobillos

Otros efectos comprenden afección a las glándulas endócrinas, la nicotina incrementa la cantidad de hormonas adrenales en 47% (promedio) en una persona que fume cigarrillos durante 30 minutos. La úlcera péptica y su desenlace fatal son más frecuentes en los fumadores, también se reduce la efectividad del tratamiento y se retarda la curación. El tabaco modifica los efectos farmacológicos en muchos medicamentos, modifica también los resultados de las pruebas de diagnóstico y aumenta el riesgo de embolia relacionado con la ingesta de anticonceptivos por vía oral.

El fumar tan solo dos cigarrillos sin filtro disminuye significativamente el potencial eléctrico de los ojos, lo que ha sido relacionado con una elevada incidencia de accidentes de tránsito en fumadores.

El riesgo de niños nacidos muertos, o con peso insuficiente, es mayor en las fumadoras; también aumenta su susceptibilidad a la enfermedad y la muerte. Además, se incrementan -- considerablemente con el consumo de tabaco, la incidencia de partos prematuros, mortalidad perinatal, riesgo de aborto espontáneo, placenta previa, desprendimiento prematuro de placenta, hemorragias durante el embarazo y ruptura prematura de membranas.

La infección gingival, la caries dental y la pérdida de los dientes, son también más comunes entre los fumadores - ( Berkow, 1978; Waldbott, 1978; Stjernswärd, 1981; Holdgate et al., 1982; Willard, 1986; Rubio y Selman, 1987).

Por si todo ello no fuera suficiente, en un estudio reciente publicado por la Academia de Ciencias de Nueva York, se encontró que en una muestra de 4,600 hombres y mujeres - estudiados durante dos años, los niveles sanguíneos de vitamina C eran menores en un 40% en los fumadores con respecto a los no fumadores (Hammond, 1980).

Y no debemos olvidar que entre otras cosas, la vitamina C, ácido ascórbico o ácido hexurónico, ayuda al organismo en:

- la absorción del fierro
- tolerancia al frío por mantenimiento de la corteza adrenal
- su actividad como antioxidante
- participa en la metabolización de: triptofano, -- fenilalanina y tirosina
- el crecimiento
- la curación de heridas
- la síntesis de los polisacáridos y el colágeno
- la formación del cartílago, huesos, dentina y dientes
- mantenimiento de los capilares

Además la vitamina C: mantiene las membranas, la biosíntesis de hormonas en adrenales y ovarios, los tejidos conectivos y los esteroides de las glándulas endocrinas; controla las hemorragias, el transporte de la cadena de electrones en las mitocondrias, el sistema de peroxidasa y estimula la fagocitosis. Además, con frecuencia, es un factor antiestrés y antiinfeccioso, activa las oxidasas en el sistema respiratorio y otros, finalmente, protege a los tejidos contra la radiación ionizante.

Su deficiencia produce: pápulas hiperqueratóticas, hemorragias perifoliculares y edema, fallas en la curación de heridas, defectos en las encías y los dientes, y debilidad, indiferencia, piel áspera y dolor en las juntas (Kutsky, 1973).

Un estudio reciente del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM enfatiza un hecho reconocido hace pocos años, la vitamina C puede interferir en la formación de nitrosaminas en el estómago, lo que la convierte en cierta forma en un protector del organismo, un anticarcinógeno (Cortinas, 1987).

Podemos considerar el impacto biológico, vía el hábito de fumar, como de bajo nivel históricamente hablando, ya que el efecto nocivo ha incidido generalmente sobre hombres posreproductivos; empero, en las últimas décadas la situación ha cambiado debido a la participación creciente como fumadora de la mujer, sobre todo mujeres jóvenes prerreproductivas, y al descubrimiento reciente del niño/niña como "fumadores pasivos".

En cuanto al tabaquismo femenino podemos señalar algunos datos interesantes. En Francia, en 1976, fumaba el 31% de las mujeres, en 1977, la proporción era ya de 43% entre las ---

adolescentes de 12 a 18 años y del 29% en el resto de la -- población femenina; hace 40 años, de cada cuatro fumadores -- adolescentes tres eran varones, en la actualidad la relación es de uno a uno, y aunque podemos presuponer que a la larga -- la mujer que fuma se expone a las mismas afecciones que el -- hombre: bronquitis crónica/enfisema pulmonar, cáncer del -- pulmón, de laringe o de vejiga, enfermedades cardiovascula-- res, etc., la mayor susceptibilidad del organismo femenino a los agentes tóxicos ( dosis diaria de alcohol necesario para la aparición de cirrosis hepática, hombre: 132 gr, mujer: -- 52 gr) se explica por una predisposición genética (Arnaud, - 1980); en efecto, la capacidad de eliminación de tóxicos en -- la mujer es menor que la del hombre, a igualdad de grado de intoxicación, la mujer fumadora o bebedora está más expuesta al riesgo del cáncer que un hombre.

La incidencia creciente del hábito entre mujeres en edad reproductiva, es cada vez más motivo de preocupación. En -- 1955, cuando se empezaban a señalar los nexos entre fumar y -- el incremento de ciertas enfermedades, fumaban en los Estados Unidos el 52% de los hombres y el 24% de las mujeres. Hoy -- en día la proporción ha cambiado, los hombres han dejado o -- están dejando el vicio, 35% de fumadores, mientras que las -- mujeres lo han incrementado, 30% de fumadoras. El peligro -- mayor es que el incremento en la tasa se ha registrado en mu -- jeres de 20 a 34 años de edad, es decir, en los años más fértil -- les y propicios para la reproducción.

A pesar de los esfuerzos de las campañas antitabáquicas, el 20% de las estudiantes de secundaria en los Estados Uni -- dos fuman, y Donald Schopland, de la Oficina Gubernamental -- sobre Tabaco y Salud, dice que a este paso es probable que -- haya más mujeres fumando que hombres ( Seligman et al., 1985).

En general, podemos decir que hoy las mujeres fuman más que nunca y consecuentemente entre ellas se ha incrementado en forma exponencial la tasa de cáncer de pulmón; la Sociedad Americana contra el Cáncer estima que ya en 1985 - este tipo de cáncer superó al líder tradicional de los neoplasmas femeninos: el cáncer de mama. Concretamente, el -- 75% de todos los casos de cáncer de pulmón en las mujeres - tiene relación directa con el hábito de fumar ( Willard, -- 1986). En 1975, la relación de pacientes con cáncer de pulmón hombre/mujer en el Centro Memorial de Nueva York para el Cáncer era de 8 : 1, en 1985 era ya de 1:1 (Scligman - et al., 1985).

Otro riesgo de salud importante es el que relaciona la sinergia tabaco-píldora anticonceptiva con los problemas -- cardiacos; el riesgo de la mujer fumadora que toma píldoras de tener un infarto al miocardio es 4.3 veces mayor que el de la fumadora que no usa contraceptivos orales y 39 veces mayor -- que el de las mujeres que ni fuman ni toman píldoras ( -- Arnaud, 1980).

Otros problemas que surgen del tabaquismo para la mujer, independientemente de todos los riesgos ya vistos para la salud, son de orden estético y no tienen importancia para -- nuestra investigación ( envejecimiento prematuro manifiesto por arrugas precoces, cutis estropeado, uñas y dedos amarillos, dientes manchados, aliento nicotínico); pero lo que -- sí es muy relevante en cuanto al impacto biológico en el -- hombre, son los daños infringidos a los fetos humanos en -- el útero de mujeres fumadoras o expuestas al humo del tabaco.

Anteriormente señalamos la posibilidad de asfixia fetal a causa de los elevados niveles de carboxihemoglobina-- en la sangre materna, es decir, la baja proporción de oxígeno que el ser por nacer recibe, a tal grado que en algunos países se ha prohibido ya fumar en lugares de trabajo donde se encuentren mujeres embarazadas ( Arnaud, 1980).

Los riesgos son más amplios, se ha observado en investigaciones recientes, que los bebés de mujeres que fuman se ven afectados antes y después de nacer. El menor problema para el bebé, pero grave para el reclutamiento poblacional, es la incidencia del cigarrillo sobre la capacidad reproductiva femenina; en efecto, las mujeres que fuman son 25% menos fértiles que las no fumadoras. Ahora bien los daños al producto son los más importantes; distintas encuestas han puesto de manifiesto que la mortalidad fetal es muy superior al promedio en las embarazadas que fuman, sobre todo si inhalan el humo, lo que sucede en mayor o menor medida de una u otra forma ( Arnaud, 1980).

En general las estadísticas indican que los hijos de madres fumadoras nacen con un peso promedio de 200 gr menor que los hijos de madres que no fuman ( Rubio y Selman, 1987). Además las embarazadas fumadoras están expuestas a excitaciones uterinas que pueden dar lugar a partos prematuros y otros efectos que hemos señalado con anterioridad. Es sabido que los niños prematuros nacen con menos peso que los llegados a término y con menor resistencia a las infecciones, además, la asociación entre el tabaquismo de los padres y frecuencia de infecciones en los niños persiste durante la lactancia ( Holland y Matthews, 1980). Generalmente estas infecciones se refieren a un riesgo incrementado de problemas respiratorios, y en un estudio realizado en el Colegio de

Medicina de la Universidad Estatal de Pennsylvania se encontró que, en una muestra de 53 mil nacimientos, los niños de padres fumadores tenían un riesgo 50% mayor de desarrollar el Síndrome de Muerte Infantil Repentina (SMIR). En otro estudio realizado en Inglaterra, con 13 mil niños que fueron examinados al nacimiento, los siete y once años de edad, se encontró que aquellos que habían nacido de madres que fumaron diez o más cigarrillos diarios durante el embarazo, presentaban retrasos de 3 a 5 meses en promedio, en relación a hijos de no fumadores, en lectura y matemáticas. No obstante ello y al esfuerzo hecho por las campañas antitabaco dirigidas a las futuras madres, la epidemióloga Virginia Ernster, de la Universidad de California en San Francisco, indica que el 40% de las adolescentes embarazadas que investigó eran -- fumadoras ( Seligman et al., 1985).

El problema para los niños no termina ahí, más bien se inicia, debido a los peligros de la exposición pasiva al humo del tabaco. En el primer año de vida, los hijos de padres fumadores sufren dos veces más de bronquitis y de neumonía que los de padres no fumadores ( Holland y Matthews, 1980). Si el padre fuma, el niño o niña (s) reciben una dosis equivalente de nicotina a treinta cigarrillos por año ( amén de los demás productos químicos en el ambiente); si el fumador de la familia es la madre, con quien los hijos tienen generalmente un contacto más estrecho, el vástago recibe tanta nicotina y otros tóxicos como si hubiera fumado 50 cigarrillos en un año; y si ambos padres fuman el -- hijo habrá hecho lo propio por el equivalente a 80 cigarrillos. Un estudio llevado a cabo por siete expertos -- psicólogos, bioquímicos y educadores --, según el British Medical Journal, concluía que " esta carga impuesta a la fuerza -

puede prolongarse a lo largo de toda la infancia y presenta un riesgo concreto para la salud" ( Willard, 1986).

En efecto , durante años se pensó que si no se fumaba aun que se estuviera en presencia de fumadores no habría peligro para la salud; un estudio de la Universidad de California en San Diego mostró, en 1980, que la habilidad respiratoria de los no fumadores expuestos al humo del cigarro en sus lugares de trabajo es considerablemente menor que la de aquellos que trabajan en donde no se fuma. Los investigadores - James White y Herman Froeb realizaron pruebas con 2,100 hombres y mujeres del área de San Diego midiendo la velocidad a la que podrían arrojar el aire de sus pulmones. En promedio, encontraron una velocidad de exhalación 10% menor entre los no fumadores que habían trabajado por años en oficinas - con el humo del cigarrillo de sus compañeros fumadores.

A estos fumadores llamados "pasivos", que se ven obligados con frecuencia a respirar el humo de cigarrillos, pipas o puros que ellos nunca encendieron, se les encontraron velocidades de respiración comparables a las de aquellas personas que fuman diez cigarrillos por día. Esta reducida capacidad pulmonar de los no fumadores, muestra que sufren la misma clase de daño en las vías respiratorias, en lo profundo de sus pulmones, que los fumadores; el daño se presenta en forma de tejidos y mucosas dañadas que bloquean el suave flujo del aire y pueden inhibir la transferencia de oxígeno en la corriente sanguínea; éste, dice White, es un daño permanente que le ocurre a toda la gente ( niños incluidos) que no fuma por elección ( Hammond, 1980).

Mediciones realizadas en habitaciones con alta densidad de fumadores activos reportaron  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas --



suspendidas producidas por el humo del tabaco. En un estudio efectuado en Japón durante 14 años, se demostró que las esposas no fumadoras, de fumadores, corrían un riesgo mayor en un 100% de contraer cáncer de pulmón, y un riesgo mayor en 50% de padecer enfisema pulmonar, que las esposas no fumadoras, de no fumadores. Se han obtenido resultados análogos en un estudio practicado en Grecia; el cáncer de pulmón entre las mujeres no fumadoras, esposas de fumadores, era - tres veces más elevado que entre las mujeres no fumadoras - casadas con no fumadores ( Willard, 1981).

Además del hábito activo o pasivo de fumar muchos niños y jóvenes del mundo han adoptado en años recientes otros - "hábitos" igualmente nocivos para su salud que pueden incidir sobre su adecuación, como el consumo de diferentes compuestos químicos, principalmente en los países desarrollados en donde se han distinguido ya cinco clases de sustancias - analizadas:

- sedantes y anestésicos, incluyendo: alcohol, barbitúricos, diversos sedantes, anestésicos volátiles, solventes industriales y pegamentos
- analgésicos narcóticos: opio, morfina, heroína y - diversos materiales sintéticos
- psico-estimulantes: drogas relacionadas con las anfetaminas, cocaína
- Cannabis: incluyendo cáñamo hindú, hashish y marihuana
- alucinógenos: LSD, mescalina, etc.

muchos de ellos son materiales establecidos desde hace mucho tiempo en diversas culturas, otros son especies químicas introducidas recientemente y que han creado fuertes problemas

en diversos países, constituyendo verdaderas epidemias entre los jóvenes ( Holdgate et al., 1982).

El ambiente creado por el hombre, sobre todo en las ciudades, debiera ser de constante preocupación para los organismos prerreproductivos de la especie, ya que existen pruebas concluyentes de que los niños son más vulnerables que los -- adultos a los contaminantes y a las perturbaciones ambientales en general.

Los riesgos a que están expuestos una mujer y su bebé -- durante el embarazo, van más allá del humo del tabaco, y -- ejercen una gran influencia en el desarrollo del embrión, el feto y la salud de la madre; estos peligros se derivan de la exposición ambiental a una gran diversidad de productos químicos y otros que ya hemos revisado. No obstante, incluso -- los medicamentos de diversos tipos se han vuelto una amenaza para la salud, como se demostró en Europa con las mujeres embarazadas que tomaron Talidomida, además, la mal nutrición o el exceso de alimento, la tensión ambiental, los contaminantes del aire, la falta de higiene del medio y otros factores influyen ciertamente en el feto y determinan el grado de salud de los niños al nacer.

Durante su desarrollo son más vulnerables que sus padres, y otros adultos, debido a la mayor rapidez con que absorben y experimentan los efectos de determinadas sustancias -- tóxicas.

Son fuentes de preocupación: la contaminación del aire -- por humos, óxidos de azufre y de nitrógeno, el ozono y el -- plomo; la contaminación de los alimentos y el agua por metales y toxinas y la transmisión de hidrocarburos clorados, HAP, DPC, y otros, a la cadena alimentaria.

Se sabe que las madres expuestas a niveles elevados de estos contaminantes, pueden actuar como intermediarias en la transmisión de pequeñas cantidades de estas sustancias a sus hijos a través de la leche. También se han descubier to niveles indeseables de plomo en la sangre de los niños - en Estados Unidos ( PNUMA, 1980b), y recientemente en Méxi-co.

La resultante de todo ello no podía hacerse esperar; -- fue nuevamente Raquel Carson quien ya en 1962, hace 25 años denunció que en los Estados Unidos: " mueren más niños de - cáncer en edad escolar que de ninguna otra enfermedad" y - añadía " el 12% de todas las muertes de niños entre 1 y 14 años son causadas por el cáncer. Gran número de tumores ma lignos se descubren clínicamente en niños menores de cinco años, pero hay un hecho mucho más cruel, un número signifi-cativo de estos neoplasmas están presentes al nacimiento o incluso antes" ( Carson, 1962).

El cáncer no es la única resultante del impacto biológi-co que pende directamente sobre la población humana como -- producto de su torpe manejo biosférico, pero puede sernos - útil, para comprender lo que queremos expresar en cuanto al daño sobre la adecuación de los organismos , derivado de la acción contaminante del hombre. En general, toda la pertur-bación planetaria que ocasionamos, todos los contaminantes que introducimos en el ambiente, terminarán por ejercer una acción deletérea sobre la adecuación no sólo humana sino de todas o de la mayor parte de las especies de la Tierra.

Nadie mejor que el mismo Director Ejecutivo del PNUMA, - Dr. Mustafá Kamal Tolba, quien probablemente dispone de la mayor, más objetiva y reciente información sobre el ambien-

te planetario, puede ubicarnos en la crisis ambiental y sus consecuencias para la vida:

" Aparto del peligro permanente de la guerra nuclear, la amenaza más grave que se cierne sobre la humanidad, es el devastador efecto de la explotación desmedida y la ordenación deficiente de los recursos naturales del planeta... si no cambiamos de proceder, no tardaremos en alcanzar los límites de tolerancia de la Biósfera, poniendo así en peligro nuestra propia supervivencia"

de acuerdo con el Dr. Tolba, y yo coincido plenamente con él, los problemas ambientales no son ya de la incumbencia particular de regiones nacionales o de grupos de individuos:

" ... la degradación del medio ambiente y la contaminación no respetan las fronteras nacionales o políticas, debido a ello, deben adoptarse medidas de cooperación internacional para hacer frente a esos problemas ".

Hay fenómenos como la lluvia ácida, el calentamiento de la atmósfera debido a los gases de efecto invernadero, la destrucción de los bosques tropicales del planeta con la consecuente pérdida de especies, la alarmante destrucción de la capa de ozono, el avance ineroxable de la desertificación y la destrucción del medio marino, que afectan a millones de personas que muchas veces viven muy alejadas del lugar en que se originan esos fenómenos.

" A la vista de esos problemas, deberíamos ser más conscientes que nunca de que, como dijo Bárbara Ward, vivimos en una sola Tierra. Lo que hagamos como individuos, grupos, naciones y regiones tendrá repercusiones directas en los demás habitantes del planeta en que vivimos. Pero tal vez lo más importante sea que lo que hagamos, o no hagamos ahora, afectará a las vidas y a la salud de nuestros hijos y de los hijos de nuestros hijos " (PNUMA, 1987).

## C O N C L U S I O N E S

A no ser que el hombre comprenda a corto plazo los efectos que su acción indiscriminada tiene sobre la biota del planeta, incluyéndolo a él, el impacto biológico sostenido y en aumento sobre los organismos que integran las comunidades de las diferentes fases de la Biosfera, producirá en un tiempo - indeterminado su extinción generalizada.

Ello traerá como consecuencia la desintegración de los - diferentes ecosistemas biosféricos y posiblemente la desaparición de la vida en la Tierra.

Por dramática y terminante que pueda parecer esta conclusión, es la resultante lógica y objetiva del análisis cuidado so de los hechos encontrados a lo largo de la investigación.

Si es cierto que la delgada capa terrestre de materia vi va se conserva, gracias a los ciclos generales de la energía y de los elementos químicos (Mutchinson, 1970), entonces la - constante y creciente acción perturbadora del hombre sobre -- los mismos, terminará por llevarlos a un desequilibrio tal -- que no puedan ser ya considerados como trama y sustento del - fenómeno viviente.

Las perturbaciones de mayor alcance y preocupación son:

- la destrucción porcentual sostenida de la ozonosfera, cuya aniquilación (sin llegar necesariamente al 100%) tornaría imposible la habitación continen tal, insular, aérea y oceánica superficial del pla neta.
- la continuada contaminación del océano mundial, -- que incide fundamentalmente en la base de la cade na alimentaria, podría afectar la adecuación tanto de organismos pelágicos como bentónicos, hasta un

grado tal en que el reclutamiento poblacional - no fuese suficiente para mantener niveles de so bre vi ve nc ia en las poblaciones, ello, aunado a la so br ed ep re da ci o n humana del océano, puede lle-- var a la ex ti nc i o n técnica a un número cada vez mayor de especies.

- la erosión derivada de un mal uso del suelo y la de se rt if i c a ci o n que de ella se deriva, junto con el gradual cambio climático, son dos aspectos im po rt an tes y complementarios entre sí de la per-- turbación humana a nivel continental e insular - que elimina habitats y relaciones tróficas, y -- conduce a la eliminación de poblaciones y a la - desaparición gradual de especies y subespecies a nivel local y global.
- la tala indiscriminada de las selvas tropicales del planeta con la consiguiente destrucción de - habitats y la ex ti nc i o n correlativa de especies tanto in si tu como ex si tu, perturba el clima - planetario, reduce la diversidad genética, condu-- ce a la pérdida de suelos y al incremento de la es co rr en ti a.
- la devastación de los bosques templados por la lluvia ácida sigue el patrón de perturbación eco l ó g i c a del cinturón ecuatorial. Además, el cam-- bio del pH de cuerpos de agua dulce conduce tam-- bién a la ex ti nc i o n de especies y a la alteración de las condiciones naturales,

a todo ello habrá de añadirse la contaminación generalizada - de tierras, aguas y aire por desechos tóxicos y radiaciones, y la perturbación más amplia de la Bi ós fe ra, que no ha sido -

objeto de estudio en la presente investigación.

Cada uno de los hechos señalados por sí mismos, en forma independiente, parece poco probable que pudiera poner en peligro la continuidad de la vida sobre el planeta, pero -- una conclusión importante de la tesis es que , al parecer, hay un sinergismo generalizado en cuanto al impacto biológico se refiere, ya que por lo menos en los hechos aquí analizados el efecto de dos o más factores combinados, es siempre mayor que el de cada uno tomado de manera aislada.

La edad es generalmente un condicionante fundamental -- del éxito reproductivo de los seres vivos, es por ello que -- la mayor preocupación debe centrarse en los estados prerreproductivos y reproductivos de los organismos; no obstante, otra conclusión del trabajo es que la acción contaminante y perturbadora del hombre afecta generalmente más a los organismos en sus primeros estados de desarrollo : plántulas, -- huevos, larvas, etc. que en su madurez, incluyendo a la descendencia humana.

Sin embargo, a diferencia de los demás habitantes de -- la Biósfera, el hombre puede a voluntad eliminar, si no totalmente sí en buena medida, el impacto biológico sobre sus poblaciones, mientras que las comunidades biosféricas no humanas se encuentran inermes ante la acción de la especie dominante.

Es obvio que la presente búsqueda bibliográfica apenas nos introduce -- y esa era la intención original -- a una problemática global que por su magnitud y efectos no puede ser abordada por una persona, ni en un solo texto por amplio y e informado que éste pudiera parecer.

El desafío a los estudiosos de las ciencias de la vida queda claro, es una obligación moral y profesional ineludi-

ble, y es además un reto a la imaginación, conocimientos y organización de los biólogos del mundo que las ideas sintetizadas en el presente escrito, a partir de cientos de trabajos realizados ya o por realizarse en diferentes países, sean conocidas y comprendidas por la población en su conjunto, en un proceso de desarrollo de una conciencia ecológica que culmine en la preservación de la vida - no sólo consciente - en esta región de la galaxia. Ello permitirá a los seres terrícolas, únicos vivos de que tengamos noticia hasta el momento, continuar en el proceso evolutivo, y al hombre que persistirá en el mismo y en otro más amplio que es la evolución social, evitar el fin de la Historia e iniciar la conquista de su propio porvenir.

Nunca antes como ahora es todo ello necesario, debido a que el asalto a la Biosfera no sólo es constante y creciente, sino que además, contrariamente a lo que pudiera pensarse, y debido a la peculiar organización social y económica del mamífero dominante, no sólo no tiene visos de detenerse sino que más bien tiende a un incremento acelerado.

Preservar de la extinción a las especies de la Tierra y coadyuvar en la medida de lo posible al fortalecimiento - de su adecuación, son a mi entender, los más importantes -- aspectos biológicos del problema ambiental contemporáneo.



## A P E N D I C E I

Clasificación de habitats de acuerdo con Begon, Harper,  
y Townsend, 1986.

Habitats clasificados en tiempo y espacio

A través del tiempo, desde el punto de vista del organismo, el habitat puede ser:

- constante, en cuyo caso las condiciones permanecen favorables o desfavorables indefinidamente
- estacionalmente predecible, en cuyo caso hay una alteración regular de periodos favorables y desfavorables
- impredecible, en cuyo caso periodos favorables de duración variable, son intercalados con periodos desfavorables igualmente variables
- effmero, en cuyo caso hay un periodo favorable predecible de corta duración, seguido de un periodo desfavorable de duración indefinida

En el espacio un habitat puede ser:

- continuo, el área favorable es mayor que la que puede cubrir el organismo usando incluso mecanismos especializados de dispersión
- parchado, con áreas favorables y desfavorables intercaladas, pero el organismo es capaz de dispersarse fácilmente de un área favorable a otra
- aislado, en cuyo caso las áreas favorables se encuentran muy alejadas unas de otras, como para que un organismo se pueda dispersar entre ellas, excepto raramente y por azar

Estas clasificaciones de habitats en tiempo y espacio - sugeridas por Southwood (1977), citado por estos autores, - pueden combinarse para dar 12 tipos de habitat de los cuales 10 pueden sustentar la vida. Los dos en los cuales, por razones obvias, es muy improbable que se sustente la vida son: el habitat continuo-effmero y el habitat aislado-effmero.

Una forma complementaria de clasificar habitats es centrarse en los efectos del "tamaño" del organismo sobre la - sobrevivencia y la fecundidad futura, es decir, sobre el valor reproductivo residual (VRR).

Así, se pueden reconocer diferentes tipos de habitats:

- habitats de tamaño benéfico, en los cuales para organismos establecidos, el VRR se incrementa rápidamente con - el tamaño de los individuos. Aquí hay un 'costo' significativo de la reproducción<sup>\*</sup>, debido a que la reproducción actual conduce a un tamaño menor que el posible, el que a su vez - lleva a un VRR reducido

- habitats de tamaño neutral o de tamaño deletéreo en - los cuales, por contraste, el VRR de los organismos establecidos es poco afectado por, o incluso disminuye con, el tamaño. Aquí por lo tanto hay un costo insignificante de la reproducción

- habitats de tamaño benéfico para los hijos, en los - cuales, el valor reproductivo se incrementa rápidamente, para los hijos, al aumentar su tamaño. (En este caso, el valor reproductivo y el VRR son iguales para los individuos - prerreproductivos)

- habitats de tamaño neutral o de tamaño deletéreo para los hijos.

---

\* 'costo' es usado en forma particular, para indicar que un individuo al incrementar la proporción de recursos que destina a la reproducción, es probable, que disminuya su sobrevivencia y/o su tasa de crecimiento y por lo tanto su VRR - (Según et al., 1986).

## A P E N D I C E II

Dawkins (1982) señala y discute cinco tipos de adecuación:

F1: tradicional, en el sentido darwinista, "capacidad para sobrevivir y reproducirse" (no es sinónimo de éxito reproductivo)

F2: genética de poblaciones, "una medida del número de descendientes que se espera que produzca un individuo típico del genotipo Aa en edad reproductiva, siendo to das las demás variables (promedio) iguales"

F3: adecuación clásica, "es una medida del éxito -reproductivo de un organismo, o de su buen éxito en transferir sus genes a las generaciones futuras"

F4: la adecuación "inclusiva" de un organismo, es una propiedad de sus acciones o efectos. Se calcula a par tir del propio éxito reproductivo del organismo, más sus efectos sobre el éxito reproductivo de sus parientes, sopesado cada uno por el coeficiente apropiado de parentela

F5: adecuación "personal", en la que el organismo se centra en los efectos que su parentela tiene sobre su adecuación, es la misma que F2 pero incluye además, los descendientes extras que pueda tener el individuo merced a la ayuda de sus parientes.

En resumen, de los cinco casos expuestos por Dawkins (1982) en realidad se usan generalmente los tres primeros, ya que F4 y F5 pueden verse como casos particulares de F2; ahora bien, los primeros tres lejos de ser excluyentes y confusos, representan la evolución de un concepto sobre - una actividad propia de todo ser vivo: sobrevivir. Así, -

se pueden integrar no tanto en una nueva definición, como en la expresión más clara y completa de esta actividad vital centrada en la reproducción; ya que sobrevivir per se, no tiene ningún valor evolutivo para el organismo, y el hecho de que él mismo sobreviva hasta el fin de su vida sin reproducirse, no tiene mayor significado y no es común encontrar ejemplos de este tipo en la naturaleza salvo en el caso del hombre, en el que algunos individuos avaros, egófstas, preocupados por su sobrevivencia personal, sin importarles el que su acción o inactividad para alcanzar su meta de sobrevivir per se, sin reproducirse, afecte a otros organismos incluyendo a miembros de su propia especie.

Los organismos sobreviven mediante la adaptación al ambiente y a los cambios que en él se suscitan, la adaptación permite al organismo hacer un uso eficiente de -- los recursos, energía alimentaria, espacio, etc. La sobrevivencia del soma mediante esta adaptación, favorece su reproducción a través de la cual, el organismo transmite genes a la siguiente generación, los que se manifiestan como individuos. Así, un mayor número de descendientes, resultará en una mayor presencia genética del individuo en la población y hablará de manera indirecta de su adaptación al medio en que habita.

En mi opinión, una mayor adaptación individual o poblacional favorecerá una mejor reproducción (F1), ésta -- transmitirá un cierto número de genes del individuo en cuestión a la siguiente generación (F3), lo que se manifestará en el número de descendientes producidos (F2), -- en relación a los producidos por otros miembros de la población. En este proceso, el "altruismo" de cualquier

miembro de la población, que favorezca en un momento determinado el número de descendientes que deja uno o varios de los integrantes de la misma, redundará en un incremento de la adecuación relativa de los miembros favorecidos (F4), y en forma parecida, en una "familia" dentro de una población, toda acción desempeñada por un miembro de la población que incida sobre la adecuación de alguno de sus miembros, deberá ser considerada (F5).

Es decir, que la confusión aparente de Dawkins (1982) es sólo una forma estadística, y en última instancia equivocada de ver las cosas. Ya que Dawkins (1982) dice que es el concepto mismo de adecuación el responsable de la confusión, "agonía" como él lo llama. A mi entender, la confusión en este autor nace del manejo que él mismo hace de ciertos autores, uno de los cuales (Hamilton) es constantemente criticado.

Yo pienso que no hay agonía en el concepto ni confusión en el mismo. Algunos autores podrán "confundirse" debido al hecho de que la palabra, que denota tan importante característica del ciclo de vida de los organismos, ha sido empleada con profusión. Pero ello, lejos de conducirnos al error, nos habla de la relevancia de dicho término para los estudios de ecología y genética de poblaciones. Y en ningún momento debe conducirnos al desuso del término (ya que la acción que caracteriza, está fuera de toda duda como esencial para la perpetuación de la vida en la Tierra); más bien debe llevarnos al acuerdo internacional (generalizado) de su aplicación.

Siguiendo la línea de trabajo de Dawkins (1982), es importante considerar lo que piensan otros autores: Futuyama (1986): "En biología evolutiva, ... la adaptación es una

característica que, debido a que incrementa la adecuación, ha sido modelada por fuerzas específicas de selección natural que actúan sobre la variación genética. En el contexto evolutivo, la adecuación es medida sólo por la tasa de incremento de un genotipo en relación a otros". Ehrlich (1986): "la reproducción es un fin en sí misma en la naturaleza, y aquellos que mejor se reproducen son por definición, los más adecuados" y añade: "el genotipo más adecuado en una población es por definición, aquel que en promedio produce el mayor número de descendientes en una generación (lo que), se condensa en la contribución proporcional de los genes de un individuo a la posteridad, en relación a otros individuos de la población". Begon, Harper y Townsend (1986): "...los individuos más adecuados en una población, son por definición aquellos que dejan el mayor número de descendientes...no obstante, la adecuación no es un término absoluto sino relativo,...es la contribución proporcional que hace un individuo a la siguiente generación; así los individuos más adecuados en una población, son aquellos que dejan el mayor número de descendientes - en relación al número de descendientes dejados por otros individuos, menos adecuados en la población. Y aquellos - individuos que dejan la mayor proporción de descendientes en una población, tienen la mayor influencia sobre las características heredables de esa población"

En ningún momento, estos autores hablan de desechar por "confuso" o "inútil" el concepto de adecuación, sino más bien, insisten en su aplicación de una manera más amplia. Yo creo que tanto ellos, como otros autores que oportunamente se han citado en la tesis (Fisher, 1958; --- Pianka, 1974; Mayr, 1976; Dobzhansky et al., 1977; Harper, 1977; Roughgarden, 1979; Calow y Townsend, 1981) tienen--

muy claro, el fenómeno vital que describe el término de - adecuación, y en consecuencia usan éste para referirse a lo que yo veo como un proceso continuo, integrado y difícil de disgregar, ya que las cuatro etapas que a mi entender - lo conforman, parecen ser esenciales a su misma existencia. Así en la adecuación distinguimos:

- adaptación de un organismo a su ambiente, lo que permitirá e incluso incrementará su
- reproducción, característica esencial a la continuidad de la vida planetaria y sin la cual, no se daría la
- transmisión de sus genes, ya que como dice Ehrlich (1986): "el nombre del juego no es sólo reproducción, sino <sup>1</sup> reproducción de los genes de uno". Esta transmisión genética se concreta hasta donde sabemos, incluyendo a los virus, en
- nuevos organismos, fenotipos somáticos portadores de aquellos genes que codificaron su descendencia en los individuos que hoy componen la "siguiente generación".

Sencillamente, no veo cómo se pueda entender y estudiar ecología, genética de poblaciones o biología evolutiva, si no se manejan estas cuatro etapas que comprenden lo que se denomina "la adecuación de los individuos". Una --- quinta característica es el hecho de que este proceso es diferente para cada organismo, de tal manera que el número de hijos variará dentro y entre poblaciones de una misma especie. Esta reproducción diferencial y sobrevivencia diferencial, son la selección natural (Futuyma, 1986), y la reproducción diferencial de los genotipos es la fuerza básica conductora de la evolución (Ehrlich, 1986), tal y como se indica en el capítulo II.

## A P E N D I C E III

Clasificación de los bosques de la Tierra de acuerdo con Robert Whittaker (1975):

Bosques lluviosos tropicales perennifolios o selvas: se presentan en la región ecuatorial donde las lluvias son abundantes y bien distribuidas a lo largo del año; se localizan en: México, América Central y del Sur, África central, sureste de Asia, Indonesia y el noreste de Australia.

Bosques tropicales estacionales, caducifolios y subcaducifolios: incluyen los bosques de monzón y una amplia variedad de comunidades que se presentan en climas de trópico húmedo pero, con una estación seca pronunciada; se localizan en: India, sureste de Asia, África occidental, México, América Central y del Sur, las Indias Occidentales y el norte de Australia.

Bosques lluviosos templados: se presentan como bosques gigantescos a lo largo de la costa pacífica de los Estados Unidos y en Australia; regiones donde el clima es templado y marítimo, con lluvias abundantes en invierno y mucha neblina y nubosidad en verano; son los bosques más altos del planeta, las copas de sus árboles sobrepasan los cien metros de altura.

Bosques templados caducifolios: crecen en climas continentales, con lluvias veraniegas e inviernos severos; se localizan en: Estados Unidos, regiones de Europa, Asia oriental y el sur de Chile.

Bosques templados perennifolios: se presentan en diferentes climas con estructura diversa; se localizan en: California, el área mediterránea, el sur de Australia, Nueva Zelanda, Chile y Asia oriental. Se desarrollan también en las zonas tropicales, en altitudes superiores a los 2500 a 3000 m.



Taiga o bosques subárticos subalpinos de hojas aciculares: se extiende alrededor del mundo en el norte de América, Europa y Asia; constituyendo la mayor reserva forestal de la Tierra, tan sólo en la URSS existen 595 millones de hectáreas (FAO, 1979). Se extiende hacia el sur en zonas montañosas.

Bosques encantados: dominados por grandes arbustos o pequeños árboles; de sus ramas cuelgan líquenes y musgos que los hacen visual y físicamente impenetrables, se presentan en la zona subalpina de montañas tropicales, en climas fríos pero no estacionales; se localizan en: - África, Sudamérica y Nueva Guinea.

Tierras boscosas tropicales de hoja ancha: pequeños árboles que reemplazan a los bosques tropicales caducifolios hacia climas más secos y suelos menos favorables -- (ácidos) en algunas áreas; se localizan en: Brasil (cerrado), África (miombo), Burma y otras regiones.

Tierras boscosas templadas: son por definición, comunidades de árboles pequeños, son más extensas en climas demasiado secos para los bosques verdaderos; hacia climas más secos, dan lugar a pastizales, tierras arbustivas o matorrales y semidesiertos; se localizan en: Estados Unidos, México, región mediterránea, África, regiones de Australia y en Sudamérica.

De acuerdo con nuestra definición de bosque como ecosistema dominado por árboles, dejamos hasta aquí la clasificación de los bosques propiamente dichos. Los llamados bosques espinosos y la sabana, son ecotonos forestales; -- son formaciones intermedias entre la selva tropical y los desiertos semiáridos; las tierras boscosas esclerófilas, -

de hojas duras, coriáceas, comprenden formaciones intermedias en latitudes templadas entre los bosques templados y condiciones áridas o desérticas. Un último ejemplo de -- ecotono boscoso, ahora entre bosques y biomas acuáticos -- (marinos), lo constituyen los manglares (Kenyon, 1975).

El mangle es uno de los pocos tipos de plantas leñosas que pueden vivir en agua salada. Los bosques de mangle, denominados también "bosques de mareas", crecen en las zonas costeras, especialmente en Asia y el Pacífico (FAO, 1985a).

Los bambudales, constituyen uno de los diversos bosques "especiales" de las zonas tropicales, aunque el bambú no es en sentido estricto un árbol, constituye un importante ecosistema de características propias en estas zonas -- (FAO, 1985a).

## A P E N D I C E IV

## Reservas en bosques tropicales, de acuerdo con la UICN

Provincia biogeográfica (Udvardy, 1975)	número de reservas	área en miles de hectáreas
selvas de Guinea	21	2,680
selvas del Congo	11	1,181
selvas Malabar	3	376
selvas Ceilancesas	1	110
selvas Bengaleses	5	346
selvas Burmanias	1	2
selvas Indochinas	18	1,368
selvas del sur de China	5	13
Malasias	9	878
Sumatra	9	2,263
Java	10	177
Islas Sunda Menores	3	47
Sulawesi	1	1
Borneo	17	824
Filipinas	8	219
Taiwan	1	13
costa de Queensland	47	495
Campucheana	3	93
Panameña	4	287
costa de Colombia	4	645
Guyana	18	608
Amazonia	15	10,218
Serrado Mar	7	286
Papuano	2	3
	223	23,133

Fuente: Holdgate et al., 1982.

Esta tabla se derivó de datos compilados por la Comisión para Parques Nacionales y Áreas Protegidas, - de la Unión Internacional para la Conservación de la - Naturaleza. Incluye áreas protegidas que caen dentro - de la clasificación de Provincias Biogeográficas reali - zada por Udvardy. Algunas áreas protegidas incluidas o partes de las mismas, pueden encajar en otros biomas -

diferentes - de alguna manera - a las selvas tropicales, -- pero en todo caso, las cifras nos dan una amplia indicación de las áreas implicadas. Los datos son revisados constantemente por la Comisión, los anotados en la tabla anterior, - corresponden a 1980.

Además de las reservas, recientemente el PNUMA y la -- FAO, han iniciado un programa para la conservación in situ de recursos forestales, que comenzó en 1986, con actividades en Malasia y Perú comprendiendo las siguientes especies:

Calamus manan

Dyera costulata

Parkia speciosa

Dryobalanops costulata

Shorea gratissima

Neobalanocarpus heimii

en Malasia, y:

Cedrela, Swietenia, Cedrelinga, Polylepis y Alnus

en Perú.

(PNUMA, 1987).

A P E N D I C E V

Contribuciones biológicas de sustancias implicadas en el intercambio mar/aire

Sustancias producidas o concentradas por organismos marinos.

<u>Sustancias producidas o concentradas por organismos marinos.</u>	<u>Fuente</u>	<u>Comentario</u>
<u>Hidrocarburos:</u>		
parafinas	algas	etileno y propileno relacionados a la productividad marina
hidrocarburos alifáticos de cadena ramificada	fito y zooplancton	el plancton marino produce aceites más comunes
hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	plantas y animales	se ha observado que se producen naturalmente en el ambiente marino

Hidrocarburos halogenados de cadena corta:

yoduro de metilo	malezas marinas en crecimiento	contribuyen al flujo neto de este material del mar al aire
bromuro de metilo	" " "	
cloroformo	" " "	
cloruro de metilo	producido probablemente por la reacción del yoduro de metilo con iones cloruro en el agua de mar	

Productos gaseosos de descomposición:

metano	descomposición de materia orgánica	normalmente ocurre en grandes áreas de depósito de materia orgánica
--------	------------------------------------	---

sulfuro de hidrógeno	descomposición de materia orgánica en condiciones - anaeróbicas
sulfuro de dimetilo	producido por bacterias - marinas

Metales:

metales	concentrados por plantas y animales marinos	la mayor parte de los seres-+ marinos son capaces de bioacumular ciertos metales (1)
compuestos organo-metálicos de As, Hg, S y Se	producidos por microorganismos en sedimentos marinos y en organismos	se ha observado la presencia de compuestos metilados de As, Hg, S y Se en el medio marino

Hidrocarburos halogenados:

pesticidas como DDT y especies químicas industriales: DPC, etc.	concentrados por plantas y animales marinos	son bioacumulados (1)
---	---	-----------------------

Radionúcleos:

Productos de fisión (Sr <sub>90</sub> , Cs <sub>137</sub> , Ru <sub>106</sub> , Ce <sub>144</sub> , Pr <sub>144</sub> ) y radionúcleos inducidos neutrónicamente (Co <sub>60</sub> , P <sub>32</sub> , Zn <sub>65</sub> , Cr <sub>51</sub> ). Plutonio de plantas nucleares	lluvia radioactiva de explosiones nucleares atmosféricas, emisiones y accidentes de reactores nucleares estacionarios y móviles	la mayor preocupación proviene del plutonio, peligro potencial del tritio, radón y kriptón 85; Sr <sub>90</sub> y Cs <sub>137</sub> de la lluvia radiactiva; todos son absorbidos por los organismos marinos.
---	---	---

(1) su bioacumulación por microorganismos en la microcapa superficial los vuelve disponibles para su transferencia a la atmósfera.

Fuente: GESAMP 1980c.

## A P E N D I C E VI

Lista de las 65 sustancias tóxicas elaborada por la APA:

1. acenafteno
2. acrilonitrilo
3. acroleína
4. aldrín/dieldrín
5. antimonio y sus compuestos
6. arsénico y sus compuestos
7. asbestos
8. benceno
9. bencenos clorinados (diferentes al diclorobenceno)
10. bencidina
11. berilio y sus compuestos
12. cadmio y sus compuestos
13. cianuros
14. 2-clorofenol
15. clordano (mezcla técnica y sus metabolitos)
16. cloroformo
17. cloruro de vinilo
18. cobre y sus compuestos
19. cromo y sus compuestos
20. DDT y sus metabolitos
21. diclorobencenos (1,2-, 1,3-, y 1,4-diclorobencenos)
22. diclorobencidina
23. dicloroetilenos (1,1- y 1,2-dicloroetileno)
24. 2,4-diclorofenol
25. dicloropropano y dicloropropeno
26. 2,4-dimetilfenol
27. dinitrotolueno
28. difenilhidrazina
29. DPC (difenilos policlorados)
30. endosulfán y sus metabolitos
31. endrín y sus metabolitos
32. esterftalato
33. etanos clorinados (incluyendo 1,2-dicloroetano, 1,1,1-tricloroetano, y hexacloroetano)
34. eteres cloroalquílicos (clorometil, cloroetil, y sus mezclas)
35. etilbenceno
36. fenol
37. fenoles clorinados (incluye: triclorofenoles y cresoles clorinados)
38. fluoroanteno

39. haloéteres [incluye: ésteres clorofenilfenil, éter bromofenilfenil, éter bis(dicloroisopropil, metano bis(cloroetoxi) y éteres difenilos policlorinados]
40. halometanos ( incluye: cloruro de metileno, cloruro de metilo, bromuro de metilo, bromoformo, diclorobromometano, triclorofluorometano y diclorodifluorometano)
41. heptacloro y sus metabolitos
42. hexaclorobutadieno
43. hexaclorociclohexano (y todos sus isómeros)
44. hexaclorociclopentadieno
45. hidrocarburos aromáticos polinucleares (incluyendo: benzantracenos, benzopirenos, benzofluoroantenos, crisenos, dibenzantracenos e indenopirenos)
46. isoforono
47. mercurio y sus compuestos
48. naftaleno
49. naftaleno clorinado
50. níquel y sus compuestos
51. nitrobenceno
52. nitrofenoles (incluyendo: 2,4-dinitrofenol, dinitrocresol)
53. nitrosaminas
54. pentaclorofenol
55. plata y sus compuestos
56. plomo y sus compuestos
57. selenio y sus compuestos
58. talio y sus compuestos
59. 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD)
60. tetracloroetileno
61. tetracloruro de carbono
62. tolueno
63. toxafeno
64. tricloroetileno
65. zinc y sus compuestos.

Fuente: Keith y Telliard, 1979.



## B I B L I O G R A F I A

- Adler, J., M. Gosnell, K. Springen y N. Finke. 1986. The dark side of the sun. Newsweek, junio 9: 40-43.
- Alison, R. 1983. Conservation by the ancients. En: 1983 Year-book of Science and the Future: 112-125. Encycl. -- Brit. Chicago.
- Anderson, A. 1980. Suicidio en cámara lenta. Salud Mundial, -- febrero/marzo: 14-17.
- Andrewartha, H. G. y L. C. Birch. 1954. The distribution and abundance of animals. Univ. of Chicago Press. Chicago.
- Arnaud, M. M. 1980. El tabaquismo femenino. Salud Mundial, -- febrero/marzo: 23-25.
- Banco Mundial. 1984. Informe sobre el desarrollo mundial 1984. Banco Mundial. Washington.
- Bardach, J. 1968. Harvest of the sea. Harper & Row. New York.
- Barney, G. O. 1980. El mundo en el año 2000, informe al presidente. En los albores del siglo XXI. Vol. uno. Oficina impresora del gobierno. Washington.
- Bascom, W. 1974. The disposal of waste in the ocean. Sci.Amer. 231 (2): 6-25.
- Batisse, M. 1980. Del mamut al hombre: ¿ sabrá la especie humana asegurar su sobrevivencia ?. Correo de la ---- UNESCO, mayo: 4-9.
- Begley, S. y M. Hager. 1984. A cancer "epidemic" in fish. --- Newsweek, febrero 20: 45.
- Begon, M., J.L. Harper y C.R. Townsend. 1986. Ecology, individuals, populations and communities. Blackwell. - Oxford.
- Bellamy, D. 1977. The world of plants. Doubleday. New York.
- Benson, A. A. y R. F. Lee. 1975. The role of wax in oceanic food chains. Sci. Amer. 232 (3): 76-89.
- Berkow, R. (Ed.). 1978. El manual Merck. Merck Sharp & Dome Rahway, N. Y.

- Berry, J. W. , D. W. Osgood y P. A. St. John. 1974. Chemical villains, a biology of pollutants. Mosby. St. Louis.
- Bishop, J. M. 1982. Oncogenes. Sci. Amer. 246 (3): 68-79.
- Bland, J. (Ed.). 1981. ¿ Qué es el cáncer ? Salud Mundial, -- septiembre/octubre: 12.
- Eliss-Guest, P. 1983. Environmental stress in the east african region. AMBIO XII (6): 290-295.
- Bolaños, F. 1976a. La contaminación marina y algunos aspectos de los efectos nocivos de los contaminantes sobre la vida en el mar. (manuscrito):
- Bolaños, F. 1976b. Ecología e ideología. En: E. Leff (Ed.). - Memorias del Primer Simposio sobre Ecodesarrollo. - Asoc. Mex. de Epistemología. UNAM. México.
- Bolaños, F. 1981. Interacciones poblacionales en arrecifes coralinos. (manuscrito).
- Bolaños, F. 1982. Ecología General. Apuntes de clase. (manuscrito).
- Bonner, J. T. 1975. Reproduction. En: Encyclopaedia Britannica 15: 676-679. Encycl. Brit. Chicago.
- Bonner, J. T. 1980. The evolution of culture in animals. Princeton Univ. Press. Princeton, N. J.
- Boorer, M. 1977. Forest life. Doubleday. New York.
- Boughey, A. 1973. Ecology of populations. (2<sup>a</sup> ed.). Macmillan New York.
- Boville, B. W. 1979. Environmental aspects of stratospheric - ozone depletion. En: A.K. Biswas (Ed.). The ozone - layer: 1-19. Pergamon. Oxford.
- Bramwell, M. (Ed.). 1975. El atlas mundial de la vida salvaje. Novaro. México.
- Branch, J. B. 1984. The waste bin: nuclear waste, dumping and storage in the Pacific. AMBIO XIII (5-6): 327-330.
- Bray, W. M. , E. H. Swanson y I. S. Farrington. 1975. The new world. Elsevier-Phaidon. Oxford.

- Brill, W. J. 1977. Biological nitrogen fixation. Sci. Amer. 236 (3): 68-81.
- Broecker, W. S. 1975. Climatic change: are we on the brink of a pronounced global warming? Science 189: 460-463.
- Broecker, W. S. 1983. The ocean. Sci. Amer. 249 (3): 106-113.
- Brown, L. R. 1982. El vigésimo noveno día. Fondo de Cultura Económica. México.
- Brown, L. R. 1987. Tread lightly on the Earth. Newsweek, marzo 2: 48.
- Brown, L. R., E. C. Postel, W. U. Chandler, C. Flavin y C. - Pollock. 1985. State of the Earth 1985. Nat. Hist. 4/85: 51-74.
- Brown, L. R., E. C. Postel, W. U. Chandler, C. Flavin y C. - Pollock. 1986. State of the Earth 1986. Nat. Hist. 4/86: s/compaginar.
- Bruno, S. 1985. Tortugas. En: Nueva enciclopedia del reino animal, Anfibios y reptiles: 109-116. Promexa. México.
- Bryson, R. A. 1974. A perspective on climatic change. Science 184: 753-759.
- Burnet, F. M. 1973. El mamífero dominante. La biología del - destino humano. Alianza. Madrid.
- Burton, R. 1981. Wildlife in danger. Macmillan. London.
- Cadwell, M. M. y E. Wellman. 1979. Effects of changing levels of ultraviolet radiation on plants and timber production. En: A. K. Biswas (Ed.). The ozone layer: - 35-55. Pergamon. Oxford.
- Cairns, J. 1975. The cancer problem. Sci. Amer. 233 (5): 64-79.
- Cairns, J. 1985. The treatment of diseases and the war against cancer. Sci. Amer. 253 (5): 31-39.
- Cagnolaro, L. 1985. Elefante africano. En: Nueva enciclopedia del reino animal, Mamíferos 7: 165-169. Promexa. -- México.

- Cagnolaro, L. y B. Cozzi. 1985. Cetáceos, orden cetácea. En: Nueva enciclopedia del reino animal, Mamíferos I:--141-151. Promexa. México.
- Calow, P. y C.R. Townsend. 1981. Energetics ecology and evolution. En: C.R. Townsend y P. Calow (Eds.). 1981. Physiological ecology. An evolutionary approach to resource use. Blackwell. Oxford.
- Carrillo, J. 1976. El clima y la masa forestal. (manuscrito).
- Carroz, J. E. 1984. La pesca en el mundo: una época de cambios y desafíos. Mazingira 8 (3): 38-42.
- Carson, R. 1962. Silent spring. Fawcett. Greenwich, Conn.
- Cesarman, F. 1972. Ecocidio: la destrucción del medio ambiente. Mortiz. México.
- Clapham, W. B. 1981. Acid precipitation. Mazingira 5 (3): 8-19.
- Clark, J. R. 1969. Thermal pollution and aquatic life. En: Sci. Amer. (Ed.). 1971. Man and the ecosphere: 162-171. Freeman. San Francisco.
- Clark, M. 1985. Learning to survive. Newsweek, abril 8: 55-58.
- Clark, M., M. Gosnell, D. Shafiro, J. Bishop y E. Clark. 1976. What causes cancer? Newsweek, enero 26: 62-67.
- Clark, M. y D. Witherspoon. 1984. Cancer: the enemy within. Newsweek, marzo 5: 36-37.
- Clarke, R. y J. Palmer. 1983. The human environment, action - or disaster? Tycooly. Dublin.
- Cleveland, W. 1986. Mining and metallurgy: production. En: -- 1986 Britannica Book of the Year: 443. Encl. Brit. Chicago.
- Cloudsley-Thompson, J. L. 1977. Man and the biology of arid - zones. Arnold. London.
- Cloudsley-Thompson, J. L. 1984. Open letter: the foot print - in the sand. Envir. Cons. 11 (2): 95-97.
- Cody, M. y J. M. Diamond (Eds.). 1975. Ecology and the evolution of communities: vii-ix. Harvard Univ. Press.-Cambridge, Mass.
- Cohen, J. E. 1978. Food webs and niche space. Princeton Univ. Press. Princeton, N. J.
- Colinvaux, P.A. 1980. Introducción a la ecología. Limusa. -- México.

- Commoner, B. 1974. The closing circle. Bantam. New York.
- CONCAWE (Conservation of Clean Air and Water, Europe). 1980. The environmental impact of refinery effluents. -- Ind. Envir. 3 (3): 4-5.
- Connel, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science 199: 1302-1310.
- Conway, W. G. 1973. Species in peril. En: 1973 Britannica - Yearbook of Science and the Future: 10-29. Encycl. Brit. Chicago.
- Cook, L.M. 1971. Coefficients of natural selection. Chapman y Hall. London.
- Cook, R. B. 1983. Los ciclos biogeoquímicos. Mazingira 7 (4): 38-45.
- Cortinas, C. 1987. Genotoxicidad de medicamentos de alto consumo en México. Gaceta UNAM, febrero 23: 6-7 y 30.
- Cox, C. B. , I. N. Healey y P. D. Moore. 1976. Biogeography an ecological and evolutionary approach. (2<sup>a</sup> ed.). Blackwell. Oxford.
- Cox, G. W. y M. D. Atkins. 1979. Agricultural ecology an analysis of world food productions systems. Freeman. San Francisco.
- Cox, R. A. , W. B. DeMore, E. E. Ferguson, R. Lesclaux, A. R. Ravishankara, S. P. Sander, N. D. Sze y R. Zellner. 1986. Stratospheric chemistry. En: WMO (World Meteorological Organization), atmospheric ozone 1985. -- WMO global ozone research and monitoring project. - Report # 16. Vol. I: 27-56. WMO. Geneva.
- Crick, F. 1985. La vida misma. Su origen y naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México.
- Crowder, W. 1975. Seashore life between tides. Dover. New York.
- Charney, J. , P. H. Stone y W. J. Quirk. 1975. Drought in the Sahara, a biogeophysical feedback mechanism. Science 187: 434-435.
- Daniel, H. 1980. El hombre y la variabilidad climática. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra.
- Darwin, Ch. 1979. The origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life. Avenel. New York.

- Cavies, N. D., D. G. Stoker, D. E. Windsor, M. T. Ashcroft, M. C. Coburn y W. A. Andrews. 1973. A guide to the study of soil ecology. Prentice Hall. Englewood -- Cliffs, N. J.
- Dawkins, R. 1982. The extended phenotype: The gene as the unit of selection. Freeman. Oxford.
- Debach, P. 1974. Biological control by natural enemies. Cambridge Univ. Press. London.
- De Sciara, G. N. 1985. Mistacocetos, suborden mysticeti. En: Nueva enciclopedia del reino animal, Mamíferos I: 152-156. Promexa. México.
- Devlin, R. 1975. Plant physiology. (3ª ed.). Van Nostrand. -- New York.
- De Vreede, M. 1977. Deserts and man. Government Pub. Office. The Hague, Netherlands.
- Di Castri, F. 1981. La ecología moderna: génesis de una ciencia del hombre y de la naturaleza. Correo de la UNESCO, abril: 6-12.
- Dobzhansky, T., F. J. Ayala, G. L. Stebbins y J. W. Valentine. 1977. Evolution. Freeman. San Francisco.
- Domínguez, G. S. 1983. An industry's perspective on hazardous waste management. Ind. Envir. Special issue 4: 22-24.
- Dout, R. L. y R. F. Smith. 1971. The pesticide syndrome diagnosis and suggested prophylaxis. En: C. B. Huffaker (Ed.). Biological control: 3-15. Plenum. New York.
- Dregne, H. E. 1984. Combating desertification: evolution of progress. Envir. Cons. 11 (3): 115-121.
- Dreux, P. 1975. Introducción a la ecología. Alianza. Madrid.
- Dubós, R. y M. Pines. 1967. Salud y enfermedad. Time-Life. -- México.
- Du Chatenet, G. 1974. Galápagos. Libri Mundi. Quito.
- Dulbecco, R. 1983. La naturaleza del cáncer. Mun. Cient. 3 (22): 168-179.
- Eckholm, E. P. 1977. La tierra que perdemos. Edit. Asoc. --- México.

- Eckholm, E. P. 1984. Poverty, population growth and desertification. Desert. Cont. Bull. 10: 37-41.
- Edmond, J. M. y K. Van Damm. 1983. Hot springs on the ocean floor. Sci. Amer. 248 (4): 70-85.
- Edwards, C. A. 1975. Soil organisms. En: Encyclopaedia Britannica 16: 1014-1018. Encycl. Brit. Chicago.
- Ehrlich, P. 1986. The machinery of nature. Simon y Schuster. New York.
- Ehrlich, P. R. , A. H. Ehrlich y J. P. Holdren. 1977. Eco---science: population, resources, environment. Freeman. San Francisco.
- Eibl-Eibesfeldt, I. 1975. Las islas Galápagos: un arca de -- Noé en el Pacífico. Alianza. Madrid.
- El-Hinnawi, E. 1982. The world environment: which way now ? Mazingira 6 (1): 58-67.
- El-Hinnawi, E. y M. H. Hashmi. 1982. Global environmental -- issues. Tycooly. Dublin.
- Epstein, E. 1973. Roots. Sci. Amer. 228 (5): 48-61.
- Erasmus, H. 1983. Industrial hazardous waste management in the Netherlands. Ind. Envir. Special issue 4: 25-27.
- Ewart, W. D. 1986. Shipping and ports. En: 1986 Britannica -- Book of the Year: 443. Encycl. Brit. Chicago.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1971. La contaminación, un problema internacional para la pesca. FAO. Roma.
- FAO. 1979. La lucha contra el hambre. FAO. Roma.
- FAO. 1981. Agricultura: horizonte 2000. FAO. Roma.
- FAO. 1984a. Guía de los alimentos básicos del mundo. FAO.Roma.
- FAO. 1984b. Proteger y producir, conservación del suelo para el desarrollo. FAO. Roma.
- FAO. 1985a. Año internacional del bosque. FAO. Roma.
- FAO. 1985b. Informe alimentario mundial. FAO. Roma.
- FAO. 1986a. Productos pesqueros. Perspectivas alimentarias - 7: 24-26.

- FAO. 1986b. Informe alimentario mundial 1986. FAO. Roma.
- Fell, B. 1975. Introduction to marine biology. Harper & Row. New York.
- Ferrari, J. 1983. Oil on troubled waters. AMBIO XII (6): 354 - 357.
- Ferrier, R. W. 1986. Petroleum. En: 1986 Britannica Book of the Year: 236-237. Encycl. Brit. Chicago.
- Fischer, R. A. 1958. The genetical theory of natural selection. Dover. New York.
- Fogg, P. J. 1975. The tropical forests: endangered ecosystems? En: 1975 Yearbook of Science and the Future: 378-393. Encycl. Brit. Chicago.
- Forbes, W. F. y M. E. Thompson. 1980. La economía tabaquera.- Salud Mundial, febrero/marzo: 10-13.
- Frankie, G. W. 1980. Tropical forest phenology and pollinator plant coevolution. En: L. E. Gilbert y P. H. Raven (Eds.). Coevolution of animals and plants: 192-209. Univ. of Texas Press. Austin.
- Fukai, R. 1986. Desde Mónaco: informe sobre la gestión de de sechos y el mar. Boletín OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) 28 (1): 33-36.
- Futuyma, D.J. 1986. Evolutionary biology. Sinauer. Sunderland, Mass.
- Fyfe, W. S. y B. I. Kronberg. 1980. The key to agricultural - strategy. Mazingira 4 (1): 64-69.
- Gammon, R. , S. C. Wofsy, R. J. Cicerone, A. C. Delany, R. T. Harris, M. A. K. Khalil, J. A. Logan, P. Midgley y M. Prather. 1986. Tropospheric trace gases. En: WMO. Atmospheric ozone 1985. WMO global ozone research - and monitoring project. Report # 16. Vol. I: 57-116. WMO. Geneva.
- GESAMP (Joint Group of Experts IMCO, FAO, UNESCO, WMO, WHO, - IAEA, UN on the Scientific Aspects of Marine Pollution). 1977. Impact of oil on the marine environ - - ment. Reports and Studies (6). FAO. Roma.
- GESAMP (Joint Group of Experts IMCO, FAO, UNESCO, WMO, WHO, - IAEA, UN, UNEP on the Scientific Aspects of Marine Pollution). 1980a. Marine pollution implications of coastal area development. Rep. Stud. (11). UN. New York.



- GESAMP. 1980b. Monitoring biological variables related to marine pollution. Rep. Stud. (12). UNESCO. Paris.
- GESAMP. 1980c. Interchange of pollutants between the atmosphere and the oceans. Rep. Stud. (13). WMO. Geneva.
- GESAMP. 1982a. Scientific criteria for the selection of waste disposal sites at sea. Rep. Stud. (16). IMCO.-- London.
- GESAMP. 1982b. The health of the oceans. UNEP Regional seas reports and studies (16). UNEP. Nairobi.
- GESAMP. 1983. An oceanographic model for the dispersion of wastes disposed of in the deep sea. Rep. Stud. (19) IAEA. Vienna.
- GESAMP. 1984a. Informe del decimocuarto periodo de sesiones. Inf. Stud. (21). PNUMA. Viena.
- GESAMP. 1984b. Principles for developing coastal water quality criteria. UNEP Regional seas. Rep. Stud. (42). - UNEP. Nairobi.
- GESAMP. 1984c. Thermal discharges in the marine environment. UNEP. Regional seas. Rep. Stud. (45). UNEP. Nairobi.
- GESAMP. 1985a. Interchange of pollutants between the atmosphere and the oceans (Part II). Rep. Stud. (23). - WMO. Geneva.
- GESAMP. 1985b. Cadmium, Lead and Tin in the marine environment. UNEP. Regional seas. Rep. Stud. (56). UNEP. - Nairobi.
- Gervasi, T. 1981. Arsenal of democracy II. Grove. New York.
- Glynn, P. W. 1977. The coral reef community. En: 1977 Yearbook of Science and the Future: 202-219. Encycl. - Brit. Chicago.
- Goldsmith, E. , R. Allen, M. Allaby, J. Davull y S. Lawrence. 1972. Manifiesto para la supervivencia. Alianza. - Madrid.
- Goldwater, L. J. 1971. Mercury in the environment. Sci. Amer. 224 (5): 15-21.
- Golley, F. y M. Hadley. 1981. Fragilidad y grandeza de los bosques tropicales. El Correo de la UNESCO, abril: 13-14.

- Gómez-Pompa, A. , C. Vázquez-Yanes y S. Guevara. 1972. The - tropical rain forests: a nonrenewable resource. -- Science 177: 762-765.
- Goreau, T. F. , N. I. Goreau y T. J. Goreau. 1979. Corals -- and coral reefs. Sci. Amer. 241 (2): 110-121.
- Groen, P. , C. L. Newcombe y J. L. Mero. 1975. Oceans and -- seas. En: Encyclopaedia Britannica 13: 482-504. -- Encycl. Brit. Chicago.
- Gerásimov, I. , L. Abrámov, L. Kunitsin, N. Leóntiev, Ya. -- Máshbits, A. Mints y V. Preobrazhenski. 1976. El - hombre, la sociedad y el medio ambiente. Progreso. Moscú.
- Guevara, S. y A. Gómez-Pompa. 1976. Determinación del conte- nido de semillas en muestras de suelo superficial de una selva tropical de Veracruz, México. En: A. Gómez-Pompa, C. Vázquez-Yanes, S. del Amo y A. Bu tanda (Eds.). 1983. Regeneración de selvas: 203--- 221. CECSA. México.
- Halldal, P. 1979. Effects of changing levels of ultraviolet radiation on phytoplankton. En: A. K. Biswas (Ed.). The ozone layer: 21-34. Pergamon, Oxford.
- Hamblin, D. J. 1975. Las primeras ciudades. Time-Life. Neder land.
- Hammond, A. (Ed.). 1980. Smoke gets in your eyes...and lungs. Science 80, julio/agosto: 11-12.
- Hardy, J. T. 1975. Science, technology and the environment.-- Saunders. Philadelphia.
- Hare, F. K. 1977. El avance de los desiertos y el clima. El Correo de la UNESCO, julio: 7-10.
- Hare, F. K. 1984. Recent climatic experience in the arid and semiarid lands. Desert. Cont. Bull. 10: 15-22.
- Harper, J.L., P.H. Lovell y K.G. Moore. 1970. The shapes and sizes of seeds. Ann.Rev. Ecol.Syst. 1: 327-356.
- Harper, J. L. 1977. Population biology of plants. Academic. London.
- Heiser, Ch. B. 1975. Origins of agriculture. En: 1975 Year-- book of Science and the Future: 56-71. Encycl. Brit. Chicago.
- Henshan, J. 1973. The notorious trio: mercury, lead and cad-- mium. En: 1973 Britannica Yearbook of Science and - the future: 360-373. Encycl. Brit. Chicago.

- Holdgate, M. W. , M. Kassas y G. F. White. 1982. The world - environment: 1972-1982. A report by the United Nations Environment Programme. Tycooly. Dublin.
- Holland, W. W. y H. Matthews. 1980. El enemigo número uno -- del pulmón. En: OMS. Tabaco o salud, elija! 4: 1-4 OMS. Ginebra.
- Holt, S. J. 1969. The food resources of the ocean. Sci. Amer. 221 (3): 178-197.
- Horn, H. S. 1971. The adaptative geometry of trees. Princeton Univ. Press. Princeton, N. J.
- Htun, N. (Ed.). 1983. The chemical industry and accident prevention. Ind. Envir. 6 (4): 1-2.
- Htun, N. y J. W. Huisman (Eds.). 1983. Industrial hazardous waste management. Ind. Envir. Special issue 4: 1-2.
- Hume, R. H. 1981. Institucionalización de la contaminación química ambiental. Mazingira 5 (2): 26-38.
- Hutchinson, G. E. 1959. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? En: W. E. Hazen -- (Ed.). 1975. Readings in population and community ecology. Saunders. Philadelphia.
- Hutchinson, G. E. 1970. La biósfera. En: Sci. Amer. (Eds.). - 1972. La Biósfera: 11-32. Alianza. Madrid.
- Hutchinson, G. E. 1979. El teatro ecológico y el drama evolutivo. Blume. Barcelona.
- Idyll, C. P. 1973. The anchovy crisis. Sci. Amer. 228 (6): - 22-29.
- IES (Institute for Environmental Studies). 1979. Atmospheric exchange processes and the ozone problem. En: A.K. Biswas (Ed.). The Ozone layer: 245-300. Pergamon.- Oxford.
- Ingmanson, D. E. y W. J. Wallace. 1979. Oceanography: an introduction. (2ª ed.). Wadsworth. Belmont, Calif.
- IRPTC (International Register of Potentially Toxic Chemicals). 1977. The WHO environmental health criteria programme. IRPTC Bull. 1 (1): 5.

- IRPTC. 1980. Chlorofluorocarbons (IV). IRPTC Bull. 3 (2): 12.
- IRPTC. 1981. Data profiles: carbon tetrachloride. UNEP. Geneva.
- IRPTC. 1982. Register Index. IRPTC. Geneva.
- Issacs, J. D. 1969. The nature of oceanic life. Sci. Amer. - 221 (3): 146-165.
- Jannasch, H. W. y C. O. Wirsen. 1977. Microbial life in the deep sea. Sci. Amer. 236 (6): 42-65.
- Jensen, A. C. 1979. Wildlife of the seas. Abrams. New York.
- Jensen, M. L. y A. M. Bateman. 1981. Economic mineral deposits. (3ª ed.). Wiley. New York.
- Jernelöv, A. y O. Lindén. 1981. Ixtoc I: a case study of the world's largest oil spill. AMBIO X (6): 299-306.
- Johnson, H. 1977. Los árboles. Blume. Barcelona.
- Kabata-Pendias, A. 1983. La agresión química a la Biosfera. Unasyuva 35 (141): 2-11.
- Keith, L. H. y W. A. Telliard. 1979. Priority pollutants I, a perspective view. Env. Sci. Tec. 13 (4): 416-423.
- Kellog, W. W. y S. H. Schneider. 1974. Climate stabilization: for better or for worse. Science 186: 1163-1172.
- Kendall, B. 1984. Cocteles marinos letales. Ecoforum 9 (1y2): 30-31.
- Kenyon, E. G. 1975. Forests. En: Encyclopaedia Britannica 7: - 534-542. Encycl. Brit. Chicago.
- Kermode, G. O. 1972. Food additives. Sci. Amer. 226 (3):15-21.
- Kershaw, K. A. 1973. Quantitative and dynamic plant ecology. (2ª ed.). Arnold. London.
- Ki-Zerbo, J. 1981. La mujer y la crisis energética en la zona sahariana. Unasyuva 33 (133): 5-10.
- Kormondy, E. J. 1973. Conceptos de ecología. Alianza. Madrid.

- Kovda, V. A. 1977. Contener la desertificación. El Correo de la UNESCO, julio: 11-13.
- Krebs, Ch. J. 1972. Ecology, the experimental analysis of -- distribution and abundance. Harper & Row. New York.
- Kukla, G. J. y R. K. Matthews. 1972. When will the present - interglacial end ? Science 178: 190-191.
- Kullenberg, G. 1984. The vital seas, questions and answers - about the health of the oceans. UNEP. Nairobi.
- Kutsky, R. 1973. Handbook of vitamins and hormones. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Labitzke, K., A. J. Miller, J. Angell, J. De Luisi, J. Frederick, J. Logan, C. Mateer, B. Naujokot, G. Reinzel y G. Tiao. 1986. Ozone and temperature trends. En: WMO. Atmospheric ozone 1985. WMO global ozone - research and monitoring project. Report # 16, Vol. III: 789-820. WMO. Geneva.
- Langley-Danysz, P. 1984. Cáncer: los riesgos de la alimentación. Mun. Cient. 4 (33): 170-182.
- Lanly, J. P. 1983. Situación y tendencias actuales de los recursos forestales. Mazingira 7 (4): 2-16.
- Larré, D. y A. M. Gajraj. 1979. The chemicals industry and - the environment. Ind. Envir. 2 (4): 1-2.
- Larré, D. y A. M. Gajraj. (Eds.). 1985. Agrochemicals and -- their impact on the environment. Ind. Envir. 8 (3): 1-2.
- Leakey, R. E. 1981. El origen del hombre. CONACYT. México.
- Lean, G. 1982. La salvaguardia de los mares. Uniterra 2: 22-25.
- Legaspi, J. A. (Ed.). 1985a. Difenilos policlorados (DPC). - IMSS. México.
- Legaspi, J. A. (Ed.). 1985b. El mercurio. IMSS. México.
- Lerman, A. 1981. Controls on river water composition and the mass balance of river systems. En: SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research), IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission), UNEP (United Nations Environment Program ) y UN (United Nations). Rivers inputs to ocean systems: 1-4. UNEP y UNESCO. Switzerland.

- Le Roy, E. 1983. Processing hazardous waste in France. Ind. Envir. Special issue 4: 46-51.
- Likens, G., R. F. Wright, J. N. Galloway y T. J. Butler. -- 1979. Acid rain. Sci. Amer. 241 (4): 39-47.
- Likens, G. 1982. The not so gentle rain. En: 1982 Yearbook of Science and the Future: 212-227. Encycl. Brit. Chicago.
- Lindeman, R. L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. En: W. E. Hazen (Ed.). 1975. Readings in population and community ecology: 234-253. Saunders. Philadelphia.
- Longman, K. A. y J. Jénik. 1974. Tropical forest and its environment. Longman. London.
- Lutz, R. A. 1985. Deep-sea hydrothermal vents: oases on the ocean floor. En: 1985 Yearbook of Science and the Future: 226-242. Encycl. Brit. Chicago.
- Mabbut, J. A. 1984. A new global assessment of the status and trend of desertification. Envir. Cons. 11 (2): 103-113.
- Mabbut, J. A. 1985. Desertification of the world's rangelands. Desert. Cont. Bull. 12: 1-11.
- Mabey, R. 1974. The pollution Handbook. Penguin. Harmondsworth Eng.
- Mac Arthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press. Princeton, N.J.
- Mac Arthur, J. W. 1975. Environmental fluctuations and species diversity. En: M. L. Cody y J. M. Diamond (Eds.). - Ecology and evolution of communities: 74-80. Harvard Univ. Press. Cambridge, Mass.
- Mac Intyre, F. 1974. The top millimeter of the ocean. Sci. --- Amer. 230 (5): 62-77.
- Madeley, J. 1984. La plaga de los pesticidas. Mazingira 8 (2): 33-39.
- Magnuson, E. et al. 1985. A problem that cannot be buried. - - Newsweek, octubre 14: 36-40.

- Main, J. 1972. Sustancias contaminadoras: tóxicos en todo el mundo. En: W. H. Mac Leish (Ed.). La morada del hombre. Secretaría de la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Humano. Nueva York.
- Manahan, S. E. 1984. Environmental chemistry. (4ª ed.). --- Grant. Boston.
- Marples, M. J. 1974. Life on the human skin. En: Scientific American (Ed.). Ecology, evolution and population biology: 303-310. Freeman. San Francisco.
- May, R. M. 1974. Stability and complexity in model ecosystems. (2ª ed.). Princeton Univ. Press. Princeton, N. J.
- May, R. M. 1975. Patterns of species abundance and diversity. En: L. M. Cody y J. M. Diamond (Eds.). Ecology and evolution of communities: 81-120. Harvard Univ. --- Press. Cambridge, Mass.
- Mayr, E. 1976. Evolution and the diversity of life. Selected essays. Harvard Univ. Press. Cambridge, Mass.
- Mayr, E. 1978. La evolución. Inv. Cien. (26): 6-16.
- Mc Intosh, R.P. 1985. The background of ecology concept and - theory. Cambridge Univ. Press. London.
- Meith, N. 1985. El registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos (RIPQPT). PNUMA. Ginebra.
- Meybeck, M. 1981. Pathways of major elements from land to ocean through rivers. En: SCOR, IOC, UNEP, UN River inputs to ocean systems: 18-31. UNEP y UNESCO. Switzerland.
- Millero, F. J. 1981. Chemical speciation of ionic components in estuarine systems. En: SCOR, IOC, UNEP, UN River inputs to ocean systems: 116-131. UNEP y UNESCO. - Switzerland.
- Mironov, O. G. 1972. Effects of oil pollution on flora and - fauna of the Black Sea. En: FAO (Ed.). Marine pollution and sea life. FAO. Roma.
- Molina, M. J., R. de Zafra, P. Fabian, C. B. Farmer, W. G. - Mankin, N. D. Sze, J. Waters y R. J. Zander. 1986. Halogenated species. En: WMO. Atmospheric ozone -- 1985. WMO global ozone research and monitoring project. Report # 16, Vol. II: 605-648. WMO. Geneva.
- Mooney, R. P. 1985. Oportunidades de cooperación en materia genética entre países en desarrollo. Cooperación - Sur 1: 8-12.

- Moreno, P. 1976. Latencia y viabilidad de semillas de vegetación primaria. En: A. Gómez-Pompa, C. Vázquez-Yanes, S. del Amo y A. Butanda (Eds.). 1983. Regeneración de selvas: 527-548. CECSA. México.
- Morgan, K. Z. 1981. Hazards of low-level radiation. En: 1981 Yearbook of Science and the Future: 214-229. Encycl. Brit. Chicago.
- Morris, J. M. 1986. Wildlife conservation. En: 1986 Britannica Book of the Year: 248-249. Encycl. Brit. Chicago.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley. New York.
- Muir, C. S. 1981. Un cuadro desigual. Salud Mundial, septiembre/octubre: 8-11.
- Munn, R. E. 1977. L'effet de serre. Mazingira 2: 79-86.
- Munn, R. E. (Ed.). 1979. Stratospheric ozone depletion, an environmental impact assessment. En: A. K. Biswas (Ed.). The ozone layer: 211-244. Pergamon. Oxford.
- Myers, N. 1978. ¿Quién tiene el hacha por el mango? Mazingira 6: 66-73.
- Myers, N. 1979. Species in peril. Revisión del libro. E. Eckholm. 1978. Disappearing species: the social challenge. Worldwatch paper 22. Mazingira 10: 92-95.
- Myers, N. 1984a. Gaia, an atlas of planet management. Anchor. New York.
- Myers, N. 1984b. Genetic resources in jeopardy. AMBIO XIII - (3): 171-174.
- Nicolet, M. 1975. Atmosphere. En: Encyclopaedia Britannica 2: 307-313. Encycl. Brit. Chicago.
- Korton, J. 1980. América precolombina. Time-Life. Nederland.
- Oates, D. y J. Gates. 1976. The rise of civilization. Elsevier-Phaidon. Oxford.
- Odum, E. P. 1971. Fundamentals of ecology (3ª ed.). Saunders Philadelphia.
- Ollier, C. D. y P. W. Richards. 1975. Jungles and rain forests. En: Encyclopaedia Britannica 10: 336-346. Encycl. - Brit. Chicago.



- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1978. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre la Desertificación. Resumen, plan de acción y resoluciones. ONU Nueva York.
- OPS ( Organización Panamericana de la Salud). 1980a. Criterios de salud ambiental 5: Nitratos, nitritos y compuestos de N-nitroso. OPS/OMS. Washington.
- OPS. 1980b. Criterios de salud ambiental 7: Oxidantes fotoquímicos. OPS/OMS. Washington.
- OPS. 1982. Criterios de salud ambiental 9: DDT y sus derivados. OPS/OMS. Washington.
- Osore, H. 1983. Pollution and public health in east Africa. AMBIO XII (6): 316-321.
- Paine, R. T. 1966. Food web complexity and species diversity. En: J. W. Nybakken (Ed.). 1971. Readings in marine ecology: 482-492. Harper & Row. New York.
- Papadakis, J. 1975. Soils. En: Encyclopaedia Britannica 16: 1018-1028. Encycl. Brit. Chicago.
- Peakall, D. B. 1970. Pesticides and the reproduction of birds. Sci. Amer. 222 (4): 72-83.
- Perry, D. R. y S. E. Merschel. 1981. Life in the jungle canopy. En: 1981 Yearbook of Science and the Future: 76-91. Encycl. Brit. Chicago.
- Perry, D. R. 1984. The canopy of the tropical rain forest. Sci. Amer. 251 (5): 114-126-
- Peto, R. 1981. Factores cancerígenos conocidos. Salud Mundial septiembre/octubre: 13-14.
- Pianka, E. R. 1970. On r and k selection. En: T. H. Clutton-Brock y P. H. Harney. (Eds.). 1978. Readings in Sociobiology: 45-51. Freeman. Reading.
- Pianka, E. R. 1974. Evolutionary ecology. Harper & Row. -- New York.
- Pim, L. R. 1981. The invisible additives, environmental -- contaminants in our food. Doubleday. Toronto.

- Plass, G. N. 1959. Carbon dioxide and climate. En: Scientific American (Ed.). 1971. Man and the Ecosphere: 173-179. Freeman. San Francisco.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 1976. Informe anual 1976. PNUMA. Ginebra.
- PNUMA. 1979. Informe anual 1979. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1980a. Documento de visión general, reunión de expertos sobre bosques tropicales. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1980b. Informe anual 1980. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1981. Informe anual 1977-1978 del Director Ejecutivo. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1982a. El medio ambiente en 1982: visión retrospectiva y panorama en perspectiva. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1982b. El estado del medio ambiente 1972-1982. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1983. El estado del medio ambiente: temas seleccionados 1983. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1984. El estado del medio ambiente 1984. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1985. El estado del medio ambiente 1985: aspectos ambientales de las nuevas tecnologías agrícolas, la población y el medio ambiente. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1986a. La magnitud de los cambios. Noticias del PNUMA marzo/abril: 5.
- PNUMA. 1986b. El estado del medio ambiente 1986: medio ambiente y salud. PNUMA. Nairobi.
- PNUMA. 1987. Informe anual 1986 del Director Ejecutivo. Primera parte. PNUMA. Nairobi.
- Poole, R. 1974. An introduction to quantitative ecology. McGraw-Hill. Tokyo.
- Powell, B., J. Buckley y M. Hager. 1986. The case for asbestos. Newsweek, septiembre 29: 42-43.

- Puchet, C. 1986. Ecofisiología de la germinación de semillas de algunos árboles de la vegetación madura de la Selva de "Los Tuxtlas", Veracruz, México. Tesis. - Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Radhakrishna, B. R. 1982. Concepto de ecología en la literatura védica. Mazingira 6 (4): 65-77.
- Rensberger, B. 1984. Cancer the new synthesis: cause. Science 84, 5 (7): 28-33.
- Revelle, R. 1969. The Ocean. Sci. Amer. 221 (3): 54-65.
- Revelle, R. 1982. Carbon dioxide and world climate. Sci. Amer. 247 (2): 33-41.
- Revelle, R. 1984. The problem with carbon dioxide. En: 1984 - Yearbook of Science and the Future: 130-143. Encycl. Brit. Chicago.
- Richards, P. W. 1973. The tropical rain forest. Sci. Amer. -- 229 (6): 58-68.
- Richards, B. N. 1974. Introduction to the soil ecosystem. -- Longman. Essex.
- RIPQPT (Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos). 1980. Bifenilos Policlorados -- (BPC). Boletín RIPQPT 3 (1): 20.
- RIPQPT. 1983. Nitratos, nitritos y compuestos N-nitroso. Boletín RIPQPT 6 (1): 23-25.
- RIPQPT. 1984. Mercurio. Boletín RIPQPT 7 (1): 33-34.
- RIPQPT. 1985a. Bifenilos policlorados, informe especial. Boletín RIPQPT 7 (2): 20-25.
- RIPQPT. 1985b. Cadmio. Boletín RIPQPT 7 (3): 26.
- Robles, R. 1971. Terminología fitogenética y citogenética. Hebrero. México.
- Rohleder, H. y F. Korte. 1982. Ecotoxicological aspects of -- cadmium. Ind. Envir. 5 (1): 2-4.
- Roughgarden, J. 1979. Theory of population genetics and evolutionary ecology: an introduction. Macmillan. New -- York.

- Rowland, S. 1979. Stratospheric ozone: Earth's fragile shield. En: 1979 Yearbook of Science and the Future; 170 -- 191. Encycl. Brit. Chicago.
- Rubio, M. H. y M. Selman. 1987. El cigarro nos consume. Inf.- Cient. Tec. 9 (124): 38-40.
- Ryther, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. En: J. W. Nybakken (Ed.). 1971. Readings in marine ecology; 540-544. Harper & Row. New York.
- Sagan, C. 1975. Life. En: Encyclopaedia Britannica 10; 893-911 Encycl. Brit. Chicago.
- Salas, R. M. 1984. Estado de la población mundial 1984. FNUAP. Nueva York.
- Salas, R. M. 1986. Estado de la población mundial 1986. FNUAP. Nueva York.
- Sálnikov, S. (Redactor). 1984. Geografía económica del océano mundial. Progreso. Moscú.
- Sand, P. H. 1979. Medidas tomadas en virtud de la CITES ( Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres) contra el - comercio de especies en peligro. Unasyuva 31 (125): 32-35.
- Sarton, G. 1965. Historia de la ciencia. La ciencia antigua - durante la edad de oro griega. Vol. II. EUDEBA. Buenos Aires.
- SCEP (Study of Critical Environmental Problems). 1970. Man's impact on the global environment: assessment and -- recomendations for action. MIT Press. Cambridge, -- Mass.
- Schachter, O. y D. Serwer. 1971. La contaminación marina y -- sus remedios. UNITAR (United Nations Institute for Training and Research). Nueva York.
- Schiff, H. I., C. Burnett, B. Carli, W. B. De More, R. de Zafra, W. F. J. Evans, P. D. Guthrie, R. F. Hampson, W. Heaps, R. Jones, D. Kley, M. Prather, J. M. Russell, III, U. Schmidt, W. A. Traub y R. T. Watson. 1986. Hydrogen species. En: WHO. Atmospheric ozone 1985. WHO global ozone research and monitoring project. Report # 16. Vol. II: 441-496. WHO. Geneva.
- Seligman, J., P. Abramson, M. Hager, S. Katz, G. Carroll y M. Starr. 1985. Women smokers: the risk factor. News-week, noviembre 25: 46-48.

- Seneviratue, G. 1980. Futuras zonas devastadas. Salud Mundial febrero/marzo: 4-6.
- Seshadri, M. 1980. El hábito de fumar en la India. En: OMS.- Tabaco o salud, elija. 3: 1-2. OMS. Ginebra.
- Sioli, H. 1973. Recent human activities in the brazilian amazon region and their ecological effects. En: B. J. Meggers, E. S. Ayensu y W. D. Duckworth (Eds.). -- Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review: 321-334. Smithsonian - Institution Press. City of Washington.
- Skinner, J. H. 1983. Hazardous waste management in the United States. Ind. Envir. Special issue 4: 66-69.
- Skog, K. E. 1985. En los Estados Unidos se quema más leña en las casas. Unasylva 37 (147): 46-47.
- Slobodkin, L. B. 1980. Growth and regulation of animal populations (2ª ed.). Dover. New York.
- SMIC (Study of Man's Impact on Climate). 1971. Inadvertent - climate modifications. MIT Press. Cambridge, Mass.
- Smith, R. L. 1975. Ecology. En: Encyclopaedia Britannica 6: 197-200. Encycl. Brit. Chicago.
- Solbrig, O. T. 1971. The population biology of dandelions. - En: W. E. Hazen (Ed.). 1975. Readings in popula- tion and community ecology: 101-115. (3ª ed.). --- Saunders. Philadelphia.
- Solbrig, O.T. 1981. Energy, information and evolution. En: - C.R. Townsend y P. Calow (Eds.). 1981. Physiological ecology. An evolutionary approach to resource use. Blackwell. Oxford.
- Souma, E. 1985. Silvicultura: indispensable para el desarrollo. Unasylva 37 (147): 2-6.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. Ann. Rev. Ecol. Syst. 15: 353-391.
- Sousa, W.P. 1985. Disturbance and patch dynamics on rocky -- intertidal shores. En: S.T. Pickett y P.S. White - (Eds.). 1985. The ecology of natural disturbance - and patch dynamics: 101-124. Academic Press. New -- York.
- Southward, A. J. 1965. Life on the sea-shore. Harvard Univ. - Press. Cambridge. Mass.
- Spilhaus, A. y J. Stein. 1975. Pollution Control. En: Ency- clopaedia Britannica 14: 749-757. Encycl. Brit. -- Chicago.

- Steele, I. 1974. Structure of marine ecosystems. Harvard --- Univ. Press. Cambridge, Mass.
- Steele, J. H. 1985. Métodos de reforestación. Foro del Desarrollo XIII (10): 14.
- Stewart, R. W. 1969. The atmosphere and the ocean. Sci. Amer. 221 (3): 76-105.
- Stjernswärd, J. 1981. ¿ Es posible evitar el cáncer ? Salud Mundial septiembre/octubre: 2-7.
- Strahler, A. N. y A. H. Strahler. 1979. Elements of physical geography. (2ª ed.). Wiley. New York.
- Stuiver, M. 1978. Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes. Science 199: 253-258.
- Sullivan, S. 1987. Nature's revenge. Newsweek, marzo 2: 38-44.
- Sumich, J. L. 1980. An introduction to the biology of marine life. (2ª ed.). Brown. Dubuque, Iowa.
- Tait, R. V. 1972. Elements of marine ecology. (2ª ed.). Butterworths. London.
- Thienemann, A. F. 1977. Vida y mundo circundante. EUDEBA. --- Buenos Aires.
- Tivy, J. 1971. Biogeography, a study of plants in the ecosphere. Oliver & Boyd. Edinburgh.
- Tolba, M. K. 1977. Introductory statement. IRPTC Bull. 1 (1): 1-4.
- Tolba, M. K. 1982a. The United Nations Conference on Desertification: a review. Mazingira 6 (1): 14-23.
- Tolba, M. K. 1982b. Desarrollo sin destrucción, Evolución de las perspectivas ambientales. Serbal. Barcelona.
- Tolba, M. K. 1983. Earth matters. UNEP. Nairobi.
- Toledo, V. M. 1974. El poder catastrófico de Mr. Ludwig o - cómo se transforman las selvas de la Amazonia. Biología 4 (2): 35-38.
- Tomlinson, P. B. y A. M. Gill. 1973. Growth habits of tropical trees: some guiding principles. En: B. J. Meggers, E. S. Ayensu y W. D. Duckworth (Eds.). Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review: 129-143. Smithsonian Institution Press. City of Washington.

- Tucker, C. J. y C. O. Justice. 1986. Satellite remote sensing of desert spatial extent. Desert. Cont. Bull. 13: -2-5.
- Turk, A., J. Turk, J. Wittes y R. Wittes. 1974. Environmental science. Saunders. Philadelphia.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los recursos naturales). 1980. Estrategia Mundial para la conservación. UICN, PNUMA, WWF, FAO, UNESCO. Ginebra.
- UN (United Nations). 1986. World population prospects estimates and projections as assessed in 1984. UN. New York.
- UNEP (United Nations Environmental Programme). 1974. The state of the environment 1974. UNEP. Nairobi.
- UNEP. 1976. Overviews in the priority subject areas oceans -- and conservation of nature, wildlife and genetic resources. UNEP. Nairobi.
- UNEP. 1979a. The environmental impacts of production and use of energy. Part I: Fossil fuels. UNEP. Nairobi.
- UNEP. 1979b. The environmental impacts of production and use of energy. Part II: Nuclear energy. UNEP. Nairobi.
- UNEP. 1980a. Island ecosystems, a review. UNEP. Nairobi.
- UNEP. 1980b. Marine living resources. UNEP. Nairobi.
- UNEP. 1981. The state of the environment 1981. Selected topics. UNEP. Nairobi.
- UNEP. 1984. An assessment of ozone layer depletion and its impact as of april 1983. Ozone Layer Bull. 8: 3-21.
- UNEP/CEPAL. 1980. The state of marine pollution in the wider caribbean region. UNEP. Nairobi.
- Upton, A. C. 1982. The biological effects of low-level ionizing radiation. Sci. Amer. 246 (2): 29-37.
- Urback, F., Y. Skreb, V. Stenback, O. M. Jensen y N. M. Dancing. 1979. Effects of ultra-violet radiation on human health. En: A. K. Biswas (Ed.). The ozone layer: 57-73. Pergamon. Oxford.

- Vázquez-Yanes, C. 1976. Estudios sobre la ecofisiología de la germinación en una zona cálido-húmeda de México. En: A. Gómez-Pompa, C. Vázquez-Yanes, S. del Amo y A. Butanda. (Eds.). 1983. Regeneración de Selvas: 279-387. CECSA. México.
- Vegas, M. 1980. Introducción a la ecología del bentos marino. OEA (Organización de Estados Americanos). Washington.
- Vermeij, G. J. 1978. Biogeography and adaptation. Patterns of marine life. Harvard Univ. Press. Cambridge, Mass.
- Voelpel, J. (Ed.). 1985. Inventory of population projects in developing countries around the world 1983/ - 1984. UNFPA (United Nations Fund for Population Activities). New York.
- Voigt, J. 1971. La destrucción del equilibrio biológico. - Alianza. Madrid.
- Vogel, G. y H. Angerman. 1979. Atlas de biología. Omega. - Barcelona.
- Vóronov, A., P. Búnich y K. Jáchev. 1979. El océano y sus recursos. Progreso. Moscú.
- Wade, B. 1980. The effect of hydrocarbons in the marine environment: a current view. Ind. Envir. 3 (3):2-3.
- Waldbott, G. L. 1978. Health effects of environmental pollutants. (2ª ed.). Mosby. St. Louis.
- Walker, C. 1971. Environmental pollution by chemicals. Hutchinson. Essex.
- Walls, J. 1977. L'homme créateur de déserts: le sol mal-traité. Mazingira 2: 18-26.
- Wang, W. C., Y. L. Yung, A. A. Laxis, T. Mo y J. E. Hansen. 1976. Greenhouse effects due to man made perturbations of trace gases. Science 194: 685-690.
- Ward, B. y R. Dubos. 1972. Una sola Tierra. Fondo de Cultura Económica. México.
- Wardle, P. A. 1985. La silvicultura después del año 2000. Unasylya 37 (147): 7-16.



- Warner, F. 1979. Sources and extent of pollution. Proc. R. Soc. Lond. B. 205: 5-15.
- Watanabe, T. 1967. Infections drug resistance. En: Scientific American (Ed.). 1971. Man and the ecosphere: 189-197. Freeman. San Francisco.
- Watson, R. T. 1986. Oxygen, hydrogen, nitrogen and halogenated species: observations and interpretation. En: WMO. Atmospheric ozone 1985. WMO global ozone research and monitoring project. Report # 16. Vol. II: 393-399. WMO. Geneva.
- Weaver, K. F. 1981. Our energy predicament. Nat. Geog. M. - Número especial, febrero: 2-23.
- Weisz, P. B. 1971. The science of biology. (4<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill. New York.
- White, E. y D. Brown. 1976. El primer hombre. Time-Life. Neerland.
- White, R. 1982. ¿ Está el hombre cambiando el clima ? Mazin gira 6 (3): 30-40.
- White, P. T. 1983. Tropical rain forests: nature's dwindling treasures. Nat. Geog. M. 163 (1): 2-48.
- White, P.S. y S.T. Pickett. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. En: S.T. Pickett y P.S. White (Eds.). 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics: 3-13. Academic Press. New York.
- Whittaker, R. H. 1975. Communities and ecosystems. (2<sup>a</sup> ed.). Macmillan. New York.
- WHO (World Health Organization). 1979a. Environmental health criteria 11. Mycotoxins. WHO. Geneva.
- WHO. 1979b. Environmental health criteria 14. Ultraviolet radiation. WHO. Geneva.
- WHO. 1985. Environmental health criteria. UNEP, ILO, WHO. Geneva.
- Willard, N. 1981. Lucha antitabáquica: una victoria posible. Salud Mundial, septiembre/octubre: 15-17.
- Willard, N. 1986. Tabaco: las últimas boqueadas. Salud Mundial, enero/febrero: 18-22.
- Williams, C. M. 1967. Third generation pesticides. En: Scientific American (Ed.). 1971. Man and the ecosphere: 247-251. Freeman. San Francisco.

- Wilson, E. O. 1975. Sociobiology the new synthesis. Harvard Univ. Press. Cambridge, Mass.
- Wilson, E. O. 1978. On human nature. Harvard Univ. Press. - Cambridge, Mass.
- Wilson, E. O. y W. H. Bossert. 1971. A primer of population biology. Sinauer. Sunderland, Mass.
- Windholz, M. (Ed.). 1976. The Merck Index: an encyclopedia of chemicals and drugs. Merck. Rahway, N. J.
- Winter, R. 1978. A consumer's dictionary of food additives. Crown. New York.
- WHO (World Meteorological Organization). 1979. Atmospheric ozone, a survey of the current state of knowledge of the ozone layer. En: A. K. Biswas (Ed.). The ozone layer: 75-136. Pergamon. Oxford.
- Wood, B. J. 1971. Development of integrated control programs for pests of tropical perennial crops in Malaysia. En: C. B. Huffaker (Ed.). Biological control: 422-457. Plenum. New York.
- Woodwell, G. M. 1967. Toxic substances and ecological cycles En: Scientific American (Ed.). 1974. Ecology, evolution and population biology: 270-277. Freeman. - San Francisco.
- Woodwell, G. M. 1978. The carbon dioxide question. Sci. Amer. 238 (1): 34-43.
- Woodwell, G. M., R. H. Whittaker, W. A. Reiners, G. E. Likens, C. C. Delwiche y D. B. Botkin. 1978. The biota and the world carbon budget. Science 199: 141-146.
- World Bank. 1986. World development report 1986. Oxford Univ. Press. New York.