

# MANEJO Y CULTIVO SUSTENTABLE DEL OCÉANO

## **Walter Ritter Ortiz**

Sección de Bioclimatología, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.  
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Deleg. Coyoacan, México, D. F.  
email: [walter\\_ritter@hotmail.com](mailto:walter_ritter@hotmail.com)

## **I.- INTRODUCCIÓN**

La población mundial crece a un ritmo jamás visto anteriormente y es para muchos la realización de un nuevo equilibrio entre el hombre y su medio ambiente y, donde la técnica se encuentra creando los medios para afrontar las necesidades de una población muy superior a la de hoy en día, con lo que corresponde a los economistas el elegir entre los métodos posibles y disponibles, los más adecuados para enfrentar el problema de alimentar la población mundial y obtener los mejores resultados.

Para una economía, tanto de los recursos terrestre como marinos, debemos ver de que sean ejemplo de un enfoque total, que compartiendo con especialistas de todas las ramas del conocimiento, la responsabilidad de ver de que ya es tiempo de pensar que en los océanos podemos encontrar gran parte de la solución de nuestros problemas, considerando que es una inmensa fuente de alimentos, si es que sabemos cómo administrarlos adecuadamente y además, podamos saber cómo preservarlos, incrementarlos y salvarlos para el futuro.

Donde, el océano es un recipiente mucho más importante que los continentes en la dinámica de conversión de la energía solar en otras formas de energía y producción de alimento, que debemos saber aprovechar. En el mar, funcionan conjuntamente, gran diversidad de organismos que compiten entre sí, por las sustancias nutritivas, que les permiten sobrevivir.

En la fase de la pesca desordenada e irracional, donde solamente un profundo conocimiento de las cadenas biológicas alimenticias, unidas a una política planificada y selectiva de la pesca, podrá permitirnos un progreso cuantitativo en los resultados de un óptimo aprovechamiento de los océanos.

Se plantea el problema de tratar de evaluar el valor biológico que posee el océano, que hagan que su rendimiento sea rentable y en las mejores condiciones, cuestiones fundamentales en la explotación de estas inmensas reservas. Sin embargo, no podemos más que pensar que ha faltado una visión global o de conjunto, ya que hasta ahora ha sido enfocado el problema con una visión parcial y desde ángulos bastante restringidos.

Tratando de establecer leyes generales para su explotación y conociendo del bajo porcentaje de alimentos marinos consumidos, sabiendo además de que una hectárea de superficie oceánica es tan productiva como una hectárea de tierra cultivable, será necesario incrementar ampliamente lo que hasta la fecha los alimentos de origen marino han venido proporcionando.

El hombre primitivo resolvió el problema de la productividad terrestre y, nos toca ahora a nosotros resolver el de la productividad marina, sabiendo que el hombre pasó de ser un destructor a ser un constructor, enriqueciendo los cultivos para subsistir en un sitio.

En la actualidad, casi sin preocuparse por la destrucción que producen los métodos y artes de pesca anticuados que utilizan los pescadores en su deseo de lograr máximos rendimientos, se está perturbando profundamente el equilibrio biológico de estos sistemas, provocando la extinción de las especies y de que a pesar del aumento en número y tonelaje de embarcaciones empleadas, las capturas de ciertas especies han venido disminuyendo peligrosamente.

Estos datos indican que un proceso de explotación excesiva en las proximidades de los litorales, zonas habitadas por el hombre, donde el océano se ha convertido en receptáculo de las aguas residuales de nuestra llamada civilización en donde todo se arroja al mar, sin pensar en la destrucción que esto trae consigo.

No solamente se explota de forma irracional el medio marino, sino que lo contaminamos y destruimos y los culpables por negligencia que lo toleran, siguen sin hacer nada al respecto. Donde la fauna afectada tiende a huir de la zona afectada, dejando vacíos en torno a los puntos de contaminación.

Se dice que es difícil luchar contra estos instintos primitivos del hombre, pero debemos saber que es más urgente de lo que creemos o

pensamos, la tarea de racionalizar la explotación del medio marino. Igualmente, de librarnos del ciego instinto para dictar leyes que nos lleven a sopesar normas y planificar rendimientos sobre las bases de una nueva cultura más sensible, más informada y más consciente de sus actos.

Maurice Aubert, se pregunta de si seremos más ciegos y más irreflexivos, nosotros los expertos economistas, biólogos y técnicos expertos en pesquerías que el pescador que ve sus intereses afectados, cuando en su opinión, es el Estado que debería disminuir los días de pesca, imponiendo períodos de veda durante la reproducción, para que la fauna tenga la oportunidad de recuperarse.

Para Cushing, la ecología marina es un asunto de muchos elementos, de muchos hechos, conceptos y de pocas teorías verificables, lo que revela un mundo de mucho material especulativo. Sin embargo, tenemos la sensación de que está emergiendo de su faceta preliminar y fase descriptiva y ya la cuantificación de la interacción de los organismos con su ambiente, está poco a poco llevándonos a la posible refutabilidad de las de las hipótesis utilizadas.

De igual modo puede suceder que lo cuantitativo no sea suficiente para darnos un mayor entendimiento de los procesos ecológicos, por lo que necesitamos utilizar mejores hipótesis que nos lleven a modelos más realistas y, con posibilidades de ser probados y refutados, sobre todo contándose con una mayor información que permita posibilidades de verificación, dentro de marco de análisis científico más general e integrado.

## **II.- ECOLOGÍA Y ASPECTOS CLIMÁTICOS EN LA PRODUCTIVIDAD OCEÁNICA**

Todo lo que existe sobre la superficie terrestre es constantemente influenciado por factores meteorológicos. El motor generador de la energía que influye en nuestra vida diaria es el Sol, que desarrolla, anima y activa la vida terrestre y marina pero, también es el inhibidor y responsable indirecto de su destrucción y muerte.

En el proceso de la vida, la radiación solar interviene en diversos niveles de producción: el radiativo, el termodinámico y el dinámico. El efecto radiativo actúa directamente en el crecimiento de las plantas terrestres y en el fitoplancton marino, a través de los procesos de producción fotosintética, cuya consecuencia es la generación de oxígeno, que mantiene tanto la vida terrestre como la marina.

Actúa indirectamente en el nivel termodinámico, a través de la temperatura (relacionada con el almacenamiento de energía), que juega un papel importante en la fotosíntesis y en la cinética enzimática asociada a ella.

Por otro lado, las diferencias de temperatura crean diferencias de densidad y presión, las cuales asociadas con la rotación de la Tierra - nivel dinámico- forman una circulación atmosférica y marina que intensifica o debilita a las corrientes marinas por diferencias de densidad y a los vientos, por diferencias de presión.

Además, a través de los procesos de evaporación (se toma energía) y condensación (se libera energía) se transporta la mayor parte de la energía térmica de los océanos a la atmósfera, donde los sistemas de vientos a gran escala, realizan su transferencia de regiones con exceso de energía a otras con déficit (usualmente de regiones ecuatoriales hacia los polos), reforzando la circulación atmosférica (modificada por la forma de la Tierra, distribución de océanos y continentes, etcétera) que, influye en la dinámica de las masas de aguas y sus movimientos horizontales y verticales -los cuales transportan los nutrientes- controlando éstos en gran medida la bioproduktividad de los océanos.

La acción conjunta de estos tres niveles de influencia solar (radiativo, termodinámico y dinámico) favorece el desarrollo de la vida oceánica. Y, cualquier situación anómala que presente cualquiera de ellos, se hará notar en su productividad. (Ritter y Guzmán, 1979).

La radiación solar interviene en los procesos de fotosíntesis de las plantas verdes, que proporcionan el primer paso en la producción de la cadena alimenticia. Poseedoras del pigmento verde llamado clorofila, pueden utilizar a la energía radiante solar para crear, a partir de sustancias inorgánicas simples, nuevos materiales orgánicos, con enlaces de alta energía. Sin embargo, existen grandes dudas en cuanto a la eficiencia fotosintética, ya que algunas medidas muestran que sólo se emplea del 1 al 5% para la incorporación de energía incidente.

La capacidad productiva resulta de dos procesos aparentemente antagónicos: la fijación fotosintética del bióxido de carbono y, su liberación por respiración. A través de la respiración se efectúa la oxidación de los componentes producidos en la fotosíntesis, liberándose energía para la ejecución de los variados trabajos biológicos y químicos de la planta.

El Sol se encarga de abastecer la energía para la reacción fotosintética y los fermentos, además de orientarla en la dirección adecuada; es decir, las plantas tienen sus catalizadores que son enzimáticos y, cada enzima

obliga a la reacción a que se desarrolle en un sólo y determinado sentido.

En otros términos, las enzimas son específicas. En el agua, cuando la radiación solar penetra, se absorbe selectivamente y con mayor rapidez que en el aire. La principal absorción en el agua, es al final del rojo del espectro. Y en el infrarrojo (IR), aproximadamente el 90% de la radiación es absorbida en el primer metro.

De las sustancias disueltas en el agua, las más importantes absorben fuertemente en el violeta y el azul; moderadamente en las longitudes de onda media y débilmente a mayores longitudes de onda.

La mayor transmisibilidad es cuando existen pequeñas cantidades de materia disuelta en el agua, que es en el verde y, para grandes cantidades en el naranja y rojo. La difusión y absorción son más importantes a medida que aumenta el número de partículas en el agua.

La luz absorbida por una molécula, sitúa a uno de sus electrones en un estado excitado de energía, quedando el electrón en disposición de aparearse con otro electrón de una molécula o átomo vecino, en un enlace covalente. Mediante este proceso fotoquímico, se forman nuevas moléculas.

La luz que es absorbida por la molécula de clorofila y transferida a los electrones, actúa de tal manera que se crean fuertes oxidantes y reductores; es decir, moléculas que arrancan con facilidad electrones de otras moléculas (las oxidan) o los ceden (las reducen).

Durante los procesos de oxidorreducción de la fotosíntesis y la respiración, la energía es conservada en los enlaces químicos, especialmente en el trifosfato de adenosina (ATP), que es la unidad básica de intercambio de energía de todas las células vivas. Cuando el (ATP) es hidrolizado a difosfato de adenosina (ADP) y a fosfato inorgánico (Pi), se libera energía, la cual es utilizada por algunas enzimas en los procesos metabólicos que requieren energía.

La energía derivada de la transferencia de electrones, es utilizada para transportar protones a través de la membrana, dando como resultado un gradiente electroquímico, a través de la membrana, con dos componentes y una diferencia en la concentración de iones hidrógeno (pH); y otra diferencia en el potencial eléctrico, formando una fuerza protón motriz.

Cuando los protones fluyen a través de la membrana en sentido inverso al gradiente, éste se abate y la energía antes contenida en él, se utiliza

para la síntesis de ATP. En términos de eficiencia de conversión de energía, las plantas son 100 veces más eficientes que cualquier máquina hecha por el hombre.

No toda la radiación solar sirve a los propósitos de ordenar la biósfera. En el ultravioleta UV, la energía resulta excesiva (el electrón del átomo receptor se excita tanto que se escapa del átomo y éste se ioniza); en el infrarrojo IR la energía es insuficiente (el átomo que recibe la radiación vibrará más intensamente o rotará o se trasladará más rápidamente por su medio, pero la influencia que sufre no es lo suficientemente intensa para mover los electrones de sus órbitas) y por lo tanto, estas gamas de radiación solar no sirven para formar moléculas biológicas.

En cambio, las radiaciones de la zona visible tienen la energía adecuada (durante el tiempo que el átomo receptor está excitado, la probabilidad de asociarse a otro y formar una molécula más compleja, es mucho mayor que cuando no lo está) y por lo tanto, la radiación visible constituye la fuente fundamental de energía de la biósfera. (Cereijido, 1978).

Al exponer las plantas a diferentes longitudes de onda, éstas en el proceso de fotosíntesis, forman compuestos de diferente naturaleza química. Si las plantas se iluminan con rayos rojos-amarillos, los compuestos principales que se forman como resultado de la fotosíntesis, serán hidratos de carbono. Si los rayos son azules, se forman proteínas. (I. Vlasov, D. Trifonov, 1975.) Además, los rayos UV y azul violeta, retardan el crecimiento de las plantas, resultando que las plantas crecen más rápidamente en la noche.

La energía radiante almacenada en forma potencial por las plantas, sufre una lenta conversión a energía cinética, que permite a las comunidades ecológicas sobrevivir. Los componentes de las plantas serán convertidos en otros componentes en los herbívoros y éstos en otros, por los carnívoros. Y al final, los descomponedores que completan el ciclo químico regresan los nutrientes al ecosistema para ser usados nuevamente.

La energía solar que fluye a través del sistema, no es destruida (primera ley de la termodinámica). Y en cada nivel biológico de producción, una parte de ella es usada (10-20%) para soportar la vida y, una mayor cantidad, es degradada de una forma de energía capaz de realizar reacciones y trabajo en formas menos útiles, que regresa al ambiente como calor o entropía (80-90%), de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica.

Podemos decir que dependemos en nuestra vida diaria de las cantidades de material orgánico, fundamentalmente proteínas, que pueden ser producidas por una cantidad finita de energía solar incidente sobre la superficie terrestre. Los fenómenos térmicos son de primordial importancia en el ambiente, tanto atmosférico como marino. Se manifiestan a través de procesos de transporte y de transformación de energía. Entre los primeros, tenemos a la conducción, convección, advección y radiación; entre los segundos, a la evaporación y condensación.

A través de la interface aire-océano, el mar puede ganar o perder calor, formándose dos tipos de regímenes térmicos en el océano, como resultado de la interacción entre las aguas superficiales y los parámetros meteorológicos: el sistema homogéneo (completamente mezclado) caracterizado por la ausencia de gradientes verticales de temperatura y, el sistema heterogéneo (sin mezcla) caracterizado por una estratificación, como resultado de la transferencia interna de energía térmica de la interfase atmósfera-océano.

La radiación de onda corta y la conductividad térmica, generan gradientes de temperatura que crean a su vez una estratificación en el agua.

En latitudes altas y medias, generalmente existe al final del invierno, una capa de mezcla profunda, que conforme el tiempo avanza, tiende ésta a reducirse; debajo de esta capa la densidad, se incrementa tan rápidamente con la profundidad, que la turbulencia desaparece y se entiende como estabilización al desarrollo de tal capa.

Este desarrollo puede ser causado por el calentamiento de la capa superficial o también, por la disminución de la salinidad de la capa superior respecto a las inferiores, donde para las regiones en las que la evaporación predomina sobre la precipitación atmosférica, resulta un continuo en la salinidad y en la densidad, produciéndose hundimientos de las capas superficiales y, una disminución en la productividad oceánica (por la limitación de nutrientes que son transportados al fondo fuera de la capa superior eufótica).

**TEMPERATURA OCEÁNICA.-** La temperatura en los océanos juega un papel importante en la productividad oceánica, a través de los procesos enzimáticos fotosintéticos, porque la intensidad del proceso enzimático es una función de la concentración de las enzimas y de la temperatura: así, si la temperatura es baja y la concentración de enzimas altas, el efecto puede ser completamente contrapesado.

Pero no tan sólo es importante la temperatura en la producción fotosintética oceánica, sino que también, indirectamente, indica otros procesos en el mar, como: mezclado, corrientes, fronteras de corrientes, surgencias, etc. Todos ellos pueden afectar la productividad oceánica, la ocurrencia y comportamiento de los peces y los procesos biológicos de reproducción, distribución y emigración, especialmente cuando se presentan fluctuaciones mayores a las normales.

Muchos peces marinos muestran respuestas condicionadas a cambios de temperatura, tan pequeñas como  $0.03^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Por tanto, la temperatura puede ser un índice de una combinación de factores ecológicos que actúan conjuntamente, para producir cambios en la disponibilidad de algunas especies. Es uno de los parámetros ambientales que es más fácilmente medible, siendo función de varios factores meteorológicos, entre los que podemos mencionar: a) La cantidad de radiación penetrando el mar superficial; b) Intercambio de calor entre mar y atmósfera; c) Advección de calor por corrientes y vientos.

En latitudes medias y altas, las altas temperaturas coinciden con clases anuales pesqueras abundantes; mientras que las bajas temperaturas, coinciden generalmente con clases anuales pobres. Toda la evidencia sugiere además, que la razón de regeneración de nutrientes en las áreas costeras, es dependiente de la temperatura: a mayor temperatura mayor será su razón de regeneración. Esto está de acuerdo con el hecho de que la regeneración de nutrientes es debida principalmente a procesos microbiológicos y, la intensidad del metabolismo bacteriano es dependiente de la temperatura.

**TERMOCLINA.**- Fenómenos físicos y biológicos son especialmente afectados por la termoclina y, la estratificación de las capas superficiales debidas al calentamiento de primavera-verano. Este calentamiento tiende a dividir el agua en una región superior, más o menos uniformemente caliente, circulando en forma turbulenta y una región profunda, fría y relativamente calmada.

El mezclado vertical disminuye y ocasionalmente desaparece completamente en la termoclina, dividiendo las masas de agua de diferentes temperaturas, salinidades y densidades. Así, la termoclina interfiere con penetraciones hacia abajo de calor, surgencias de elementos químicos y con las migraciones verticales del fitoplancton y zooplancton; en general con todos los procesos de intercambio entre las capas oceánicas superior e inferior.

El viento crea corrientes superficiales y determina circulaciones. El Sol calienta el estrato Superficial y tiende a confinar las corrientes del viento

a la Superficie. La evaporación, al enfriar la capa superficial, establece corrientes de convección. La razón media de cambio de temperatura puede considerarse debida a fuentes de calor positivas (radiación solar incidente) y negativas (evaporación, calor sensible, radiación reflejada), así como por efectos de advección y convección, como a la redistribución de calor debida al mezclado turbulento, que pueden ser positivas o negativas.

El proceso de producción de una termoclina, es el efecto resultante de la interacción de todos estos factores.

La profundidad de la termoclina, está también relacionada con el sistema de corrientes prevaletientes, mientras que la distribución de masas lo está con el campo de temperaturas. Las divergencias y convergencias, asociadas con la circulación superficial, generan crestas y valles en la topografía de la termoclina, teniendo además particular importancia en la fertilización de la capa superior oceánica, así como en la distribución y producción de zooplancton del área.

Esta distribución, corresponde aproximadamente con la topografía de la termoclina, según la cual, para regiones de alta producción, existe generalmente una termoclina poco profunda. Por ejemplo, las mayores concentraciones de atún, están claramente relacionadas a la profundidad de la termoclina y al gradiente de temperatura determinante, correspondiendo para menores profundidades y mayores gradientes de temperatura, mayores capturas. Ambos efectos actúan en forma independiente y aditiva en las razones de captura.

## **EFFECTOS DINÁMICOS EN LA PRODUCTIVIDAD OCEÁNICA**

**VIENTOS.-** Es el movimiento horizontal del aire sobre la superficie de la Tierra y en la atmósfera superior. El movimiento depende de la existencia de un gradiente de presión atmosférico, el cual se establece a través de incesantes interacciones de "altas" y "bajas" meteorológicas. En la misma forma que el agua fluye por una pendiente, así el aire fluye siempre de una área de alta presión atmosférica a una de baja. Este forcejeo para ajustar dinámicamente la distribución de presión y densidad es la base de todos los vientos, desde los más grandes huracanes sobre el océano hasta los más pequeños remolinos de polvo sobre el desierto.

El flujo de aire entre sistemas contiguos de alta a baja presión es modificado e influenciado por:

- 1) Rotación de la tierra;

- 2) Fricción superficial;
- 3) Factores locales de temperatura y convección térmica;
- 4) Movimientos frontales, y
- 5) Naturaleza y topografía de la superficie terrestre. Además, como los sistemas de presión se mueven sobre la superficie de la Tierra, cambian por consiguiente la dirección y rapidez de los vientos locales.

Cuando se examinan un gran número de mapas medios en el tiempo, cada uno de los cuales mostrará la distribución del movimiento en la latitud y en la longitud para una elevación dada, los mapas de superficie están caracterizados principalmente por grandes anticiclones divergentes sobre los océanos (altas subtropicales calientes) y, las marcadas zonas de convergencia ecuatorial. En el hemisferio norte, en invierno, encontramos un fuerte anticiclón divergente sobre Siberia (alta fría) y ciclones convergentes en los Océanos Pacífico y Atlántico cerca de los 60° N (bajas en Aleutiana y de Islandia). Sobre Asia, se observa un cambio monsonal estacional: como es divergente en invierno da paso a uno parcialmente ciclónico convergente en verano, lo cual es una respuesta directa y simple de la baja continental de temperatura en verano.

Los vientos resultantes más notables son:

- 1) Polares del Este: son vientos fríos del Este que ocurren al norte del Círculo Ártico y al Sur del Círculo Antártico, son producidos por descensos de aire sobre los polos y subsecuentes movimientos hacia el ecuador, combinados con el efecto de Coriolis;
- 2) Oestes dominantes: fuertes vientos del Oeste que ocupan el cinturón entre 40° y 60° de latitud, tanto al Norte como al Sur, que resultan del movimiento del aire hacia los polos, combinado con el efecto de Coriolis;
- 3) Vientos Alisios: son vientos dominantes hacia el Noreste en el hemisferio norte y hacia el Sureste en el hemisferio sur, localizados en un cinturón entre 5° y 23° de latitud, tanto al Norte como al Sur, aunque están sujetos a un desplazamiento estacional de alrededor 1000 millas hacia el polo en el verano de cada hemisferio y, siguiendo al sol sobre el Pacífico, son más pronunciados durante la estación de Invierno de cada hemisferio. Son vientos secos, producidos por el movimiento del aire hacia el ecuador, sujetos al efecto de Coriolis;
- 4) Monzones: estos vientos están caracterizados por una completa inversión en la dirección del invierno, al verano, de

acuerdo con los patrones de presión prevalecientes de altas y bajas sobre el área.

El área se caracteriza por inviernos fríos y veranos calientes. Estos vientos son siempre extratropicales. Los vientos son importantes en la productividad oceánica porque provocan corrientes horizontales y verticales (efectos de advección y convección, respectivamente) encargadas de transportar los nutrientes a las regiones productoras oceánicas.

**SURGENCIAS.-** La surgencia es el movimiento ascendente de las aguas subsuperficiales hacia la superficie. Varios mecanismos pueden generarlo, pero el más importante es la acción del viento sobre la superficie del mar. Las surgencias son más probables allí donde los vientos soplan constantemente en una línea paralela a la costa. De todos los fenómenos del océano, ninguno es tan susceptible a cambios meteorológicos locales como la surgencia. Un pequeño cambio en la dirección o velocidad del viento, o ambas, puede desplazar la región de surgencia o hacerla desaparecer.

Las surgencias, dentro de las fronteras de la pendiente y las zonas periféricas de divergencia y centrales de convergencias, a menudo caracterizan regiones de alta bioproductividad, donde la batimetría juega una regla principal en la circulación vertical, aún para regiones de gran profundidad.

El contacto de masas de aguas de diferente origen y diferentes características hidrológicas, también producen intensas surgencias del fondo y hundimientos de aguas superficiales, así como numerosos vórtices, meandros, giros, etc.

**CORRIENTES.-** Son los movimientos de agua horizontales, semipermanentes y a gran escala, que ocurren en los océanos y mares. A pesar de que las causas generales de las corrientes oceánicas son conocidas, el mecanismo exacto que las controla aún no ha sido bien explicado. No existe una teoría completa para los patrones de circulación en los océanos y por consiguiente, dependen en gran medida de las observaciones. Éstas son a menudo deficientes y en muchas áreas del océano, las corrientes son virtualmente desconocidas.

Las dos causas principales de las corrientes son: El intercambio de calor con la atmósfera y el espacio y, la energía suministrada por los vientos. Además, intervienen también en la formación y modificación de las corrientes: la rotación de la Tierra y, la variación de la densidad del agua debida a diferencias en la temperatura y salinidad.

Este último factor, es influenciado por la radiación solar en forma similar a como la radiación influye sobre la superficie terrestre, para la distribución de la presión y de la circulación general de la atmósfera.

Las corrientes a menudo son los principales factores que afectan el régimen oceanográfico de muchas regiones; y junto con otros factores (surgencias, nutrientes, vientos, etcétera), controlan su bioproduktividad, llevando aguas frías, ricas en nutrientes y saturadas en oxígeno, a regiones de abundante energía solar. Estas características vigorizan el desarrollo del fitoplancton y naturalmente, el de los consumidores, el zooplancton, peces y grandes invertebrados.

En las áreas Este de los océanos, hay un intenso movimiento ciclónico de masas de agua en las zonas norte subtropicales, que llevan aguas frías de latitudes medias a aguas ecuatoriales, enfriándolas, junto con un movimiento anticiclónico en las zonas del sur. En las partes Oeste del océano, aguas cálidas de latitudes Ecuatoriales se mueven hacia el norte calentando las aguas polares.

Procesos locales generando giros, surgencias y contactos de masas de agua de diferentes orígenes, ocurren en diferentes regiones del mundo, principalmente en aquellas vecinas a la plataforma continental y a las fuertes declinaciones continentales; en donde, a un incremento en la pendiente le corresponde uno en la intensidad de hundimientos y surgimientos de las aguas. Las formas onduladas de los frentes oceánicos, debidas a la inestabilidad de cizallamiento, causada por la diferencia de velocidades sobre ambos lados de los frentes, hace que se formen los remolinos.

Las divergencias son producidas principalmente a lo largo de la región costera de continentes o islas o cerca de bancos oceánicos y, son causadas por corrientes o vientos costeros o a veces por "la colisión de corrientes profundas con un banco o la plataforma continental (producción de surgencias). En las zonas de convergencia, se encuentran hundimientos de masas de agua y acumulación de objetos al garete, incluyendo algunos organismos vivos como el plancton.

Es posible clasificar las formas enriquecidas resultantes de los sistemas de remolino en los siguientes tipos. (Uda y Makoto, 1958):

- a) Sistema adinámico de remolino. Se produce por la colisión de dos sistemas diferentes de corrientes (frías y calientes) o pertenecientes a aguas oceánicas y aguas costeras. Los centros fríos del remolino ciclónico, corresponden en el otoño a localidades de concentración de ballenas; mientras que en la primavera y

principios del verano, hay correspondencia con concentraciones de atún (albacora). Los núcleos calientes de los giros anticiclónicos, corresponden a mediados del verano, a concentraciones de barrilete, albacora y ballenas.

- b) El grado de enriquecimiento de estas regiones parece ser proporcional a la magnitud de verticidad del remolino o, aproximadamente al gradiente de temperatura de las masas de agua en ambos lados del frente.
- c) Sistema de remolinos topográficos u urográficos. Son remolinos que se forman alrededor de islas, correspondiendo con lugares de concentración de calamares, macarela y pargos. En estas áreas topográficas están localizadas importantes pesquerías comerciales, con sistemas de remolinos estacionarios.

Se puede establecer, en general, que en alta mar el abastecimiento de nutrientes se realiza a través de las corrientes oceánicas; mientras que en las áreas costeras donde el agua de la zona eufótica está más o menos regularmente en contacto con el fondo, la descomposición microbiológica de materia orgánica es el factor más importante, además de que se regeneran sales conteniendo fósforo y nitrógeno.

**TURBULENCIA.-** En la naturaleza, los movimientos de fluidos son rara vez de tipo laminar. El movimiento turbulento de un fluido es usualmente el resultado de una inestabilidad convectiva, en el que la energía cinética del movimiento se obtiene de la energía potencial del fluido; pero puede deberse también a inestabilidad en el flujo por cizallamiento, en cuyo caso la turbulencia proviene principalmente de la energía cinética del movimiento medio. En los flujos viscosos, la turbulencia se origina por la diferencia entre las fuerzas de inercia respecto a las de viscosidad.

Es de esperarse que, para una masa de agua no estratificada, cuya viscosidad de remolino  $A_v$  no varía con la profundidad, de acuerdo a Ekman, se establezca una corriente a  $45^\circ$  de la dirección del viento, cambiando su dirección linealmente y su velocidad exponencialmente con la profundidad. Pero tan pronto se desarrolla o establece un gradiente térmico, esta condición ya no es válida, dado que conforme a la estabilidad, aumenta en cualquier capa:  $A_v$  tiende a disminuir.  $A_v$  juega así su papel importante en el retardo del asentamiento de sedimentos y micro-organismos suspendidos, aun cuando éstos sean más densos que el medio de suspensión. Pero no tan solo material, sino también calor y momentum, pueden ser transferidos a través de este sistema. Observándose en  $A_v$  el mismo papel que tiene la viscosidad molecular

para aguas tranquilas, siendo iguales en magnitud en ausencia de gradientes de densidad, los cuales desaparecen por mezclado vertical.

En general, la fuerza de mezclado depende de la diferencia de velocidades horizontales en el agua, entre las capas superiores e inferiores. En áreas de plataforma, las corrientes de marea son un factor muy importante en generar tales cizallamientos. En mar abierto, los movimientos superficiales producidos por el viento al desaparecer las termoclinas, son muy importantes también.

Para agrupaciones fitoplanctónicas pequeñas, bajo ciertas condiciones usualmente asociadas con vientos débiles o moderados, las aguas cerca de la superficie forman largos vórtices paralelos, con pares de ellos rotando en direcciones opuestas y, con espaciados de 20 a 100 metros. Entre los vórtices hay regiones de hundimientos y surgencias; el primero, acumula material flotante y el segundo, concentra organismos hundiéndose o tratando de nadar hacia abajo. En tipo similar de circulación de hundimiento, puede ocurrir en las fronteras entre aguas de diferente salinidad tal y como ocurre donde ríos o estuarios desembocan en el mar.

A mayores escalas, hay áreas de rápida transición de características Físicas y Químicas en el mar abierto y, estas condiciones especiales pueden conducir a cambios marcados en el plancton.

Es de esperar también, encontrar una estratificación vertical de Plancton dependiente del comportamiento de los organismos mismos; mientras que la variación horizontal debe depender de factores físicos y así se puede esperar que sea similar en escala y forma, a parámetros tales como la salinidad o aspectos químicos importantes como nutrientes. Agrupaciones de fitoplancton en mar abierto, han sido señaladas en un amplio rango de escalas desde unos metros a áreas de diámetros de cientos de kilómetros. Parece haber dos categorías principales en esa agrupación: bandas de una anchura de pocos metros, pero de cientos de metros de largo y, agrupaciones mucho mayores, aproximadamente elípticas, con un diámetro medio de aproximadamente 50 km.

El concepto de remolino es usado para separar dos componentes en cualquier conjunto de medidas de flujo de agua; del flujo medio y de los elementos fluctuando aleatoriamente en estas medidas. La separación de estos componentes es muy dependiente del tiempo y las escalas de longitud. Los grandes remolinos pueden obtener su energía de fuerzas externas, tales como el viento o mareas. Los remolinos de mayor amplitud, los giros oceánicos, son generados por la circulación general de la atmósfera. Remolinos más pequeños son formados en los grandes,

haciéndose cada vez más pequeños hasta que la energía es finalmente disipada a través de la viscosidad.

Los procesos horizontales y verticales están íntimamente relacionados y ambos deben ser considerados para encontrar explicaciones en las formas biológicas de desarrollo.

**LA INTERACCIÓN OCEANO-ATMOSFERA Y SUS INFLUENCIAS EN LA PRODUCTIVIDAD OCEÁNICA.**- Quizá el efecto más conocido de la interacción Océano-Atmosfera en la productividad oceánica, es el efecto conocido como el "Niño", que se presenta cuando la circulación oeste superior de las regiones subtropicales son anormalmente más fuertes, produciendo como consecuencia que los vientos alisios sean más débiles de lo normal y, la contracorriente marítima ecuatorial fluya más fuertemente hacia el Este, trayendo agua caliente que abate la productividad de la costa peruana. Por el contrario, cuando los Oestes son débiles, los alisios son fuertes y la contracorriente se hace más lenta o desaparece del todo; entonces aparecen las agua frías que son asociadas con surgencias y una productividad muy elevada, (Namías, 1973).

La interacción del océano con la atmósfera en ninguna parte es tan vividamente observada como en la naturaleza de las corrientes oceánicas frías en latitudes tropicales. Así, la principal razón de la corriente del Perú es la divergencia de los alisios del Sureste, donde este flujo produce surgencias constantes, siendo particularmente intensas donde el flujo del aire es paralelo a la costa.

Los procesos atmosféricos, en estas regiones de surgencias, son muy estables; las capas inferiores de las corrientes de aire son enfriadas fuertemente, haciendo que el vapor de agua se condense constantemente a alturas tan bajas (200-300 m) que la región se cubre con bajos estratocúmulos, que permiten el paso de solamente una pequeña porción de luz solar, teniéndose una baja evaporación; aunque la cubierta nubosa es muy estable y extensa, es a la vez muy delgada y no produce precipitación, lo cual evita que se forme una estratificación por densidad, que pueda destruir el efecto de surgencias en estas aguas (Samoyienko, 1970).

En los intercambios de energía entre el océano y la atmósfera, la evaporación es la parte principal y también la más variable de las influencias, presentándose sobre grandes áreas del océano, considerables anomalías de hasta  $80 \text{ cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en la transferencia de energía (Sawyer, 1964), que perduran por períodos de más de un mes; siendo el efecto de estas anomalías con la liberación de calor latente,

proveniente de las anomalías de la temperatura del océano, las que tienen un mayor efecto sobre la circulación general de la atmósfera.

Es pues, la liberación de calor latente de condensación, la mayor fuente para la generación de energía cinética dentro de los trópicos como también de exportación a mayores latitudes. Sobre los océanos, la temperatura superficial es determinada por la capa de mezcla advectiva, que depende de un balance de energía en la superficie del océano y la mezcla inducida por el viento, dentro de la capa misma, como de la estructura de temperatura del agua profunda y la advección latitudinal resultante de la circulación a gran escala.

En la atmósfera, los movimientos a gran escala en regiones extratropicales, pueden caracterizarse como lentos, casi geostróficos y altamente estables gravitacionalmente. En los trópicos, los movimientos no son más casigeostróficos, pero permanecen lentos y si no hay condensación, altamente estables (J.G. Charney, 1963). Estas propiedades restringen fuertemente el carácter de los movimientos tropicales, aun más que el de los movimientos extratropicales. Así, los cambios en regiones extratropicales son proporcionales a la componente vertical de vorticidad, mientras que en regiones tropicales el cambio es proporcional a una vorticidad relativa mucho más pequeña.

Esto significa que los movimientos verticales son importantes en regiones extratropicales, pero no en las tropicales. Y así, en ausencia de movimientos tropicales de condensación, son casi horizontales y casi no divergentes. Lo anterior no es válido en regiones donde la condensación está ocurriendo, porque el factor de estabilidad es mucho más pequeño y los movimientos verticales son importantes. Tales regiones, deben ser consideradas como regiones fuente para el flujo no divergente, siendo la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) la principal región fuente. Perturbaciones tropicales fuera de la ZCIT y las áreas de lluvias monzonales, sirven como fuentes adicionales.

Las temperaturas del océano, la lluvia, el flujo de los vientos alisios y la temperatura potencial equivalente, están relacionadas y tienen variaciones a largo plazo con períodos que exceden de un año (A.F. Krueger y T.I. Gray Jr., 1969). Rosenthal (1967), con un modelo lineal casigeostrófico de dos capas, sugiere que un movimiento convectivo producido en la convergencia de la capa de Ekman, puede llevar a crecimientos simultáneos de perturbaciones en la tropósfera superior, pero baja con escalas horizontales del orden de varios miles de kilómetros.

Las localidades más favorables para este calentamiento convectivo, son probablemente aquéllas donde la convergencia de la frontera de Ekman

ocurre con altos valores de temperatura potencial equivalente, así la temperatura oceánica es particularmente importante cuando sobrepasa los 28 ó 29°C.

Cuando las temperaturas oceánicas-ecuatoriales son más calientes que el promedio, ocurre un incremento en las lluvias convectivas y consecuentemente existe una mayor liberación de calor latente. Este calentamiento acelera la circulación meridional de la celda de Hadley, causando una mayor exportación de calor y momento a las latitudes medias, produciéndose en torno a los Oestes, zonales más fuertes. Los Oestes en el Sur son siempre más intensos que los Oestes del Norte y se extienden más al sur del ecuador, debido a la distribución de los continentes (H. Fiohn, 1967).

La circulación de los alisios en ambos hemisferios, sobre el Pacífico, está relacionada con las anomalías de la temperatura oceánica superficial con tendencias a largo plazo, en las componentes meridionales de la circulación y, altamente correlacionados con la lluvia precipitada en la ZCIT, que provee, con su liberación de calor latente, de un mecanismo autoalimentador para los alisios (E. Reiter, 1977a, 1977b).

Las fluctuaciones en los alisios, son importantes en la regulación de las surgencias ecuatoriales y consecuentemente de la temperatura superficial del mar. Las aguas frías de las surgencias, a lo largo del ecuador, suprimen fuertemente la lluvia, enfriando y estabilizando el aire cerca de la superficie. Fuertes alisios produciendo surgencias y, aguas frías debilitan a los mismos alisios, resultando en surgencias reducidas y temperaturas oceánicas más calientes, son acompañadas por un incremento en la nubosidad y lluvia.

Conforme las surgencias matan el reforzamiento de los alisios a través del ciclo hidrológico, la celda de Hadley tiene un mayor reajuste. Los eventos del "Niño" son solamente una señal local de tales ajustes, que tienen lugar sobre una amplia región del Pacífico Central.

Como los cambios en el régimen de los alisios, también parecen tener un profundo efecto en la nubosidad tropical y precipitación, la variabilidad de la liberación de calor latente de la ZCIT, puede ser uno de los factores que controlan las variaciones de la temperatura media global, (Reiter, 1977b). La intensidad y distribución de fuentes de calor extratropical, determinan también el grado en que las circulaciones tropicales están ajustadas con los Oestes. Cuando estas fuentes de calor son débiles, los trópicos responden con mayor exportación de calor, derivada grandemente del calor de condensación.

Mayores fuentes de calor en latitudes medias tendrán, como resultante para mantener un balance, una respuesta más débil proveniente de los trópicos. Así, la fuente de energía de las latitudes medias pueden alterar el flujo de energía de los trópicos. Al menos durante la última gran sequía subtropical (1972), la reducida excursión al norte de la ZCIT, fue acompañada por un flujo de calor relativamente débil del hemisferio sur. (Kraus,1977), observó que ésta estuvo acompañada por temperaturas relativamente bajas en el sur de los subtropicos y, por temperaturas anormalmente altas en el Antártico. El gradiente de temperatura meridional y la pendiente de la superficie de los 500 mb, fueron correspondientemente disminuidos.

Se sugiere que esto estuvo asociado con una reducida exportación de energía (y momento zonal) de los trópicos, con una circulación tropical directa relativamente débil. Como resultado, estas circulaciones no producen las cantidades normales de precipitación, a lo largo de su frontera norte en el área monzonal.

Las formas onduladas de los frentes oceánicos son debidas a la inestabilidad de cizallamiento, causada por la diferencia de velocidades sobre ambos lados de los frentes, que hace que se formen los remolinos. Las divergencias son producidas principalmente a lo largo de la región costera de continentes o islas o cerca de bancos oceánicos y, son causadas por corrientes o vientos costeros y a veces por la colisión de corrientes profundas, con un banco o la plataforma continental (producción de surgencias).

Estos fenómenos, más los efectos de mezclado por acción de las olas y movimientos convectivos, son los responsables mayores en el cambio de la temperatura superficial.

En varias áreas, la magnitud de cambio en la temperatura superficial, durante un periodo de pocos días, puede igualar el rango total anual; esto sucede especialmente en latitudes bajas y medias y, en casos de surgencias, observándose los mayores cambios cuando varios factores actúan en el mismo sentido. También, la temperatura y la profundidad de la capa de mezcla, pueden cambiar en pocos días más de 1°C y 30 metros respectivamente, especialmente, si una tormenta pasa sobre el área.

El mecanismo más importante de cómo la temperatura influye en la supervivencia de las larvas, es a través de la disponibilidad de alimento en el tiempo apropiado: temperaturas muy altas o muy bajas pueden poner el desarrollo de las larvas fuera de fase respecto a la máxima producción de alimento, ya que la producción fitoplanctónica está muy

relacionada con los cambios estacionales de temperatura y cantidad de luz.

Cuando la luz es limitante, puede considerarse que el mecanismo de fotosíntesis es independiente de la temperatura; con luz fuerte, cuando los mecanismos no fotosintéticos son limitantes, parecen ocurrir fuertes efectos de la temperatura (Rabinowitch, 1945).

La abundancia de zooplanctón (importante como alimento para las larvas) está relacionada a la abundancia de fitoplancton y al periodo de desove de animales planctónicos adultos el cual, también es controlado por la temperatura. En latitudes medias y altas, las altas temperaturas coinciden con clases anuales pesqueras abundantes; mientras que las bajas temperaturas, coinciden generalmente con clases anuales pobres.

Toda la evidencia sugiere además, que la razón de regeneración de nutrientes en las áreas costeras, es dependiente de la temperatura; a mayor temperatura mayor será su razón de regeneración. Esto está de acuerdo con el hecho de que la regeneración de nutrientes es debida, principalmente, a procesos microbiológicos y, la intensidad del metabolismo bacteriano es dependiente de la temperatura.

Fenómenos físicos y biológicos son especialmente afectados por la termoclina y la estratificación de las capas superficiales, debidas al calentamiento de primavera-verano. Este calentamiento tiende a dividir el agua en una región superior, más o menos uniformemente caliente, circulando en forma turbulenta, pero por otro lado, una región profunda, fría y relativamente calmada.

El mezclado vertical disminuye y ocasionalmente desaparece completamente en la termoclina, dividiendo las masas de agua de diferentes temperaturas, salinidades y densidades. Así, la termoclina interfiere con penetraciones hacia abajo de calor, surgencias de elementos químicos y con las migraciones verticales del fitoplancton y zooplancton y en general, con todos los procesos de intercambio entre las capas oceánicas superior e inferior.

El viento crea corrientes superficiales y determina circulaciones: el Sol calienta el estrato superficial y tiende a confinar las corrientes del viento a la superficie, en tanto que la evaporación, al enfriar la capa superficial, establece corrientes de convección. La razón media de cambio de temperatura puede considerarse debida a fuentes de calor positivas (radiación solar incidente) y negativas (evaporación, calor sensible, radiación reflejada), así como por efectos de advección, convección y a la redistribución de calor, debida al mezclado turbulento, que pueden ser positivas o negativas.

La salinidad de una región, depende de la evaporación y de las precipitaciones atmosféricas; por lo que las zonas donde la evaporación es grande y la precipitación poco abundante, permite comprobar que la superficie posee una salinidad inferior a las capas profundas, debido a la presencia de agua dulce; en cambio, en alta mar se comprueba una disminución de la salinidad con la profundidad. La salinidad superficial está sometida a variaciones anuales, con máximos valores en primavera, por la poca lluvia y mucha evaporación y, a mínimos valores en otoño por la lluvia más abundante.

Presentan gran interés los elementos químicos secundarios, entre los que se encuentran los factores de crecimiento, actuando como catalizadores de la vida, como es el del hierro, que afecta el crecimiento de las diatomeas y donde, las corrientes marinas juegan un papel importante en la vida y pesca pelágica, dispersando el plactón a lo largo de su trayectoria, en donde las modificaciones físicas del medio marino producen modificaciones bioquímicas que son la base de la productividad.

Donde la provincia oceánica posee una población extremadamente variada, que abarca desde el plancton hasta las ballenas. Los peces pelágicos no presentan dimensiones como las ballenas, pero sí una gran diversidad, constituyendo la parte más importante de la pesca oceánica.

El contacto de masas de aguas de diferente origen y diferentes características hidrológicas, producen intensas surgencias del fondo, de hundimientos de agua superficiales, así como numerosos vórtices, meandros, giros, etcétera.

Las Corrientes marinas son los movimientos de aguas horizontales, semipermanentes y a gran escala, que ocurren en los océanos y mares. A pesar de que las causas generales de las corrientes oceánicas son conocidas, el mecanismo exacto que las controla, aún no ha sido bien explicado. No existe una teoría completa para los patrones de circulación en los océanos y por consiguiente, dependen en gran medida de las observaciones. Éstas son a menudo deficientes y en muchas áreas del océano las corrientes son virtualmente desconocidas.

Las corrientes a menudo son los principales factores que afectan el régimen oceanográfico de muchas regiones y, junto con otros factores (surgencias, nutrientes, vientos, etcétera), controlan su bioproductividad, llevando aguas frías ricas en nutrientes y saturadas en oxígeno, a regiones de abundante energía solar. Estas características vigorizan el desarrollo del fitoplancton y naturalmente el de sus consumidores, el zooplancton, peces y grandes invertebrados.

En las áreas Este de los océanos, hay un intenso movimiento ciclónico de masas de agua; son las zonas norte subtropicales que llevan aguas frías de latitudes medias a aguas ecuatoriales, enfriándolas, como la presencia de un movimiento anticiclónico en las zonas del sur. En las partes Oeste del océano, las aguas cálidas de latitudes ecuatoriales se mueven hacia el norte calentando las aguas polares.

Son procesos locales generando giros, surgencias y contactos de masas de agua de diversos orígenes que ocurren en diferentes regiones del mundo, principalmente en aquellas vecinas a la plataforma continental con fuertes declinaciones continentales, donde a un incremento en la pendiente, le corresponde uno en la intensidad de hundimientos y surgimientos de las aguas.

Las formas onduladas de los frentes oceánicos son debidas a la inestabilidad de cizallamiento, causada por la diferencia de velocidades, sobre ambos lados de los frentes, que hace que se formen los remolinos. Las divergencias son producidas principalmente a lo largo de la región costera de continentes o islas o cerca de bancos oceánicos que son causadas por corrientes o vientos costeros y a veces, por la colisión de corrientes profundas con un banco o la plataforma continental (producción de surgencias).

### **III.- ECOLOGÍA Y DINÁMICAS A OBSERVAR EN EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS OCÉANOS**

En las zonas de convergencia, se encuentran el hundimiento de masas de agua y acumulación de objetos al garete, incluyendo algunos organismos vivos como el plancton. Es posible clasificar las formas enriquecidas resultantes de los sistemas de remolino en los siguientes tipos, (Uda y Makoto, 1958):

- o Sistemas dinámicos de remolino, que se producen por la colisión de dos sistemas diferentes de corrientes (frías y calientes) o pertenecientes a aguas oceánicas y aguas costeras. Los centros fríos del remolino ciclónico, corresponden en el otoño a localidades de concentración de ballenas, mientras que en la primavera y principios de verano, hay correspondencia con concentraciones de atún (albacora).
- o Los núcleos calientes de los giros anticiclónicos, corresponden a mediados del verano a concentraciones de barrilete, albacora y ballenas. El grado de enriquecimiento de estas regiones parece ser proporcional a la magnitud de

la vorticidad de remolino o aproximadamente, al gradiente de temperatura de las masas de agua en ambos lados del frente.

- o Los Sistemas de remolinos topográficos u orográficos, son remolinos que se forman alrededor de islas, correspondiendo con lugares de concentración de calamares, macarela y pargos. En estas áreas topográficas están localizadas importantes pesquerías comerciales, con sistemas de remolinos estacionarios.

Se pueden establecer, en general, que en alta mar, el abastecimiento de nutrientes se realiza a través de las corrientes oceánicas, mientras que en las áreas costeras -donde el agua de la zona eufótica o productiva está más o menos en contacto con el fondo- la descomposición microbiológica de materia orgánica es el factor más importante, además de que se regeneran sales conteniendo fósforo y nitrógeno.

En la naturaleza, los movimientos de fluidos son rara vez de tipo laminar. El movimiento turbulento de un fluido es usualmente el resultado de una inestabilidad convectiva, en el que la energía cinética del movimiento se obtiene de la energía potencial del fluido, aunque puede deberse también a la inestabilidad en el flujo por cizallamiento, en cuyo caso, la turbulencia proviene principalmente de la energía cinética del movimiento medio.

En general, la fuerza de mezclado depende de la diferencia de velocidades horizontales en el agua, entre las capas superiores e inferiores. En áreas de plataforma, las corrientes de marea son un factor muy importante en generar tales cizallamientos. En mar abierto, los movimientos superficiales son producidos por el viento y al desaparecer éstos, las termoclinas llegan a ser importantes también.

Para agrupaciones fitoplanctónicas pequeñas, bajo ciertas condiciones usualmente asociadas con vientos débiles o moderados, en donde las aguas cerca de la superficie forman largos vórtices paralelos, en pares de ellos, rotan en direcciones opuestas, con espaciados de 20 a 100 metros.

Entre los vórtices hay regiones de hundimientos y surgencias: el primero acumula material flotante, en tanto el segundo, concentra organismos hundiéndose o tratando de nadar hacia abajo. Un tipo similar de circulación de hundimientos puede ocurrir en las fronteras entre aguas de diferente salinidad, tal y como ocurre donde ríos y estuarios que desembocan en el mar.

A mayores escalas, hay áreas de rápida transición de características físicas y químicas en el mar abierto, y estas condiciones especiales pueden conducir a cambios marcados en el plancton. Es de esperar también, encontrar una estratificación vertical de plancton dependiente del comportamiento de los organismos mismos. En tanto que la variación horizontal, debe depender de los factores físicos y se puede así esperar que sea similar en escala y forma a parámetros tales como la salinidad o aspectos químicos importantes, como nutrientes.

Cuando las temperaturas oceánicas ecuatoriales son más calientes que el promedio, ocurre un incremento en las lluvias convectivas y consecuentemente, existe una mayor liberación de calor latente. Este calentamiento acelera la circulación meridional de la celda de Hadley, causando una mayor exportación de calor y momento a las latitudes medias, produciéndose en torno a los Oestes, zonales más fuertes.

Mayores fuentes de calor en latitudes medias, tendrán como resultante una respuesta más débil proveniente de los trópicos. Así, la fuente de energía de las latitudes medias, pueden alterar el flujo de energía de los trópicos. Al menos durante la última gran sequía subtropical (1972), la reducida excursión al Norte de la ZCIT fue acompañada por un flujo de calor relativamente débil del hemisferio sur.

Kraus (1977), también observó que estuvo acompañada por temperaturas relativamente bajas en el sur de los subtrópicos y, por temperaturas anormalmente altas en la Antártica. El gradiente de temperatura meridional y la pendiente de la superficie de los 500mb, fueron correspondientemente disminuidos.

Se sugiere que esto estuvo asociado con una reducida exportación de energía y momento zonal de los trópicos, con una circulación tropical directa relativamente débil. Como resultado, estas circulaciones no producen las cantidades normales de precipitación, a lo largo de su frontera norte en el área monzonal.

Estados estacionarios en el tamaño medio de las poblaciones en la naturaleza, no necesariamente representan valores de equilibrio. Los estados estacionarios en ecología, son dependientes del suplemento energético dados a una tasa constante e introducidos al sistema por el exterior, donde, si este suplemento de energía desaparece, el sistema pierde dicho estado estacionario y se alcanza el equilibrio físico, que significa la muerte termodinámica.

Por lo tanto, los estados estacionarios son distintos del equilibrio y se dan tanto en sistemas vivos como no vivos.

Como el proceso de mantener una población viva requiere un continuo flujo de energía potencial y, el tamaño de la población depende de la tasa a que dicho potencial de energía entra al sistema, ya sea a través de plantas o animales -que servirán posteriormente de alimento a otros consumidores- generando así una cadena trófica o cascada bioenergética, donde las plantas son consideradas como las únicas con capacidad transformadora y productora, siendo las demás poblaciones dependientes de dicha producción de forma directa o indirecta.

#### **IV.- CAPTURAR SIN DESPOBLAR**

Un predador prudente consume sus presas de manera tal que pueda maximizar su suplemento alimenticio, al mismo tiempo que minimiza la posibilidad de que la población consumida sea incapaz de automantenerse así misma y poder seguir siendo utilizada como alimento en el futuro.

Es decir, un predador debe usar sus presas de manera eficiente y al igual que todos los organismos en la naturaleza, éstos parecen comportarse con mucha prudencia, lo cual fue aprendido y obtenido a un costo de experimentos evolutivos interminables, lo cual también implica que dicho aprendizaje tuvo grandes costos en vidas.

La energía solar es absorbida por las plantas y, parte de ésta es convertida a energía potencial por los procesos de fotosíntesis, a través de una conversión lenta a energía cinética, lo cual permite a las comunidades ecológicas sobrevivir.

Los competidores interactúan sobre el mismo nivel trófico, es decir a través de interacciones horizontales, existiendo también las interacciones verticales.

Cuando un depredador consume su presa, la población de presas están siendo usadas como máquinas para convertir algunas porciones del mundo relativamente abundante en formas más útiles.

Desde este punto de vista del predador, los herbívoros son máquinas que convierten las plantas en su alimento y donde un predador racional no consumirá de una sola sentada dichas presas, dejando algunas para reproducirse y reemplazar a las que consume, buscando explotar las poblaciones de herbívoros en tal forma, que maximice el siguiente cociente: números de calorías consumidas por los predadores entre el número de calorías de las plantas consumidas por las presas.

Esta razón es la eficiencia de las presas en producir alimento para los predadores. Esta eficiencia es realmente función de tres diferentes especies: plantas, presas y predadores. El número de presas y depredadores presentes en cualquier tiempo, se le conoce como producción bruta. Los sistemas vivos deben usar parte de su energía en manufacturar y repararse a sí mismas.

La eficiencia de las presas depende no sólo del alimento proporcionado sino también en su efectividad al utilizarlas y en estos casos, la razón del cociente: número de calorías de las presas consumidas por predador, por unidad de tiempo entre el número de calorías de las plantas pasando por sus gargantas en la unidad de tiempo, que se le conoce como "eficiencia de la cadena alimenticia", así también como la tasa de calorías de las presas consumidas por predador en la unidad de tiempo entre el número de calorías de plantas consumidas por los herbívoros o las presas por unidad de tiempo, que es llamada la "eficiencia ecológica".

La eficiencia ecológica será siempre mayor o igual a la eficiencia de la cadena alimenticia.

Diseñar un programa apropiado de explotación de presas por los predadores no es algo simple, ya que debe esperarse que el tamaño de la población de depredadores estará influenciada por el suplemento de alimento de las presas, así como de cualquier fluctuación que pueda ocurrir en las poblaciones de presas, como así mismo podemos anticipar que las poblaciones de presas serán afectadas por las fluctuaciones en las poblaciones de los depredadores.

El concepto de comunidad es más interesante si es definido en términos de química y transferencia energética entre organismos.

Si por simplicidad consideramos que existe una tasa de depredación constante y queremos conocer sus efectos sobre las poblaciones de presas en estado estacionario, debemos recordar que el proceso de depredación es una alteración a las probabilidades de sobrevivencia en las diferentes edades y que estamos agregando nuevas fuentes de mortalidad adicionales a las mortalidades que se dan de forma natural.

Si se obtiene un nuevo estado estacionario bajo estas condiciones de depredación, los valores de fertilidad y sobrevivencia son alterados por este proceso de depredación y debemos considerar que al remover algunos de estos animales, incrementamos la disponibilidad de alimentos para los que son dejados y, que debe de incrementarse también la tasa reproductiva restaurándose un nuevo estado estacionario, a niveles más bajos de biomasa de producción.

La depredación que es lo suficientemente severa para reducir significativamente el número de individuos reproductores, también disminuirá la intensidad de competencia entre las larvas y alterará la distribución de las sobrevivencias restaurando las condiciones de estado estacionario.

Las especies en que no son alteradas en sus sobrevivencias o fertilidades, como consecuencias del acto de depredación, serán incapaces de retornar a sus condiciones de estado estacionario y por lo tanto, debe esperarse que se extingan.

Los factores de denso dependencia controlan, en gran parte los tamaños poblacionales en todas las especies y, automáticamente compiten con otras fuentes de mortalidad natural, así cuando la tasa de depredación es baja, la mortalidad por hambre y enfermedades incrementa, observándose que el efecto de depredación sobre el tamaño de las presas es que substituye una causa de mortalidad por otra o, disminuye la sobrevivencia en una edad en particular de la población o puede actuar sobre ambas cosas.

Sin embargo, si la sobrevivencia en alguna edad es reducida por depredación, se presentará un cambio compensativo ya sea en la sobrevivencia de alguna edad o en la fecundidad de las presas o probablemente estas últimas serán inestables yendo hasta la extinción y así, el efecto de depredación sobre la biomasa de las presas, dependerá de manera precisa y definible de la eficiencia con que las presas se reproducen y en la distribución de su sobrevivencia.

Concluyendo de esto, la magnitud de la eficiencia no necesariamente tiene que ver con la importancia del proceso en el que la razón de eficiencia es igual al que se da en las maquinas. Un organismo hace muchas cosas que requieren de energía; movimiento de sus partes internas, movimiento en sí mismo en su ambiente productivo, producción para crecimiento de su cuerpo y reproducción. Pero solamente la producción, relacionada con su crecimiento es considerada como un tipo útil de energía potencial y otros posibles de energía a nivel individual, son generalmente ignoradas.

Aunque todos los organismos dependen en última estancia de la energía radiante del Sol, la energía que es transferida de organismo a organismo y conserva efectivamente al sistema ecológico funcionando, es la energía potencial que está guardada en la moléculas orgánicas, considerando conveniente hablar de la energía como un flujo que se da a través de la población, de la cual deben establecerse claros estados de sus limitaciones, donde la energía entra a una población a través de la boca de un animal y lo abandona, ya sea como calor o como la

energía potencial de un animal muerto o de sus heces o al alimentar a un depredador.

El contenido de energía en una población puede ser medida en términos de calor liberado en su combustión; si conocemos el valor energético del alimento dado a una población y el valor energético de rendimiento, seremos capaces de calcular la eficiencia de la población de convertir el alimento en peso de su cuerpo.

Podemos hablar solamente de la eficiencia de producir energía considerada como útil o de alguna otra forma, lo que arbitrariamente definimos como sin uso.

Cuando consideramos la energía del alimento abastecido, estaremos refiriéndonos a la eficiencia de la cadena alimenticia, mientras que cuando consideramos el alimento comido en el entorno, nos referimos a la eficiencia ecológica. La eficiencia ecológica está determinada por la tasa de remoción de animales y la proporción del alimento consumido, que puede convertirse en calorías de origen animal.

Para tasas muy bajas de remoción, resultan en eficiencias de cadena alimenticia y ecológica baja y, altas tasas de remoción en mayores eficiencias. Tasas de remoción, excesivamente altas, reducen la población a tamaños que son incapaces de consumir todo el alimento disponible, disminuyendo la eficiencia de la cadena alimenticia.

Para estar seguros que la población que alimentamos será capaz de persistir bajo el procedimiento de remoción de sus individuos, el número de animales removidos debe fijarse como una fracción del número de animales que nacen o son incorporados en la población.

Un procedimiento para determinar el número de animales a removerse, no limita los tipos de animales a remover, de modo que podemos remover animales adultos o animales jóvenes y, después de un tiempo lo suficientemente largo, tendremos información para cada población sobre su número promedio y distribución de tamaño de la población desigual. El número promedio y distribución de tamaños del rendimiento en cada censo, estos números pueden convertirse a calorías determinando también el suplemento de alimentos a la población, en unidades calóricas.

Para tener una estimación del alimento dado a la población, a la cual debemos estimar la proporción del alimento comido por cada población de manera indirecta, determinando el consumo de alimentos y las tasas de crecimiento.

Con toda esta información, podemos evaluar los conceptos de eficiencia donde la más simple y más importante para las interacciones de la comunidad, es la razón del contenido de energía del animal removido de cada población, al contenido energético del alimento.

Cuando consideramos la energía del alimento, estamos considerando la eficiencia de la cadena alimenticia; mientras que cuando consideramos el alimento comido estaremos refiriéndonos a la eficiencia ecológica la cual es determinada por la tasa de la remoción de animales y la proporción del alimento consumido, que pueden ser convertidas en calorías del animal, pero que no representa una relación directa al tamaño de la población de la que el animal es removido.

Para muy bajas tasa de remoción, resultan en bajas eficiencias de la cadena alimenticia y ecológica, mientras para tasas altas de remoción resultan en eficiencias más altas. Altas tasas de remoción sin embargo, reducen la población a un grado tal que es incapaz de consumir todo el alimento provisto y la eficiencia de la cadena alimenticia disminuye.

Una estimación típica de campo de la eficiencia ecológica seguirá lo siguientes cálculos y procedimientos: Debe considerarse que cada especie está asignada a un determinado nivel trófico, ya sean plantas, herbívoros, carnívoros etc. El consumo total de alimentos en calorías, debe ser estimado para cada nivel trófico. La eficiencia ecológica de cierto nivel trófico, que es alimentado por el nivel trófico de  $x + 1$ , será el consumo de alimento del nivel trófico  $x + 1$  dividido por el consumo de alimento del nivel trófico  $x$ .

Sorpresivamente, los valores observados en el campo son esencialmente idénticos con los máximos valores observados en el laboratorio y todas estas estimaciones están en el rango de 5.5 a 13.3%, notándose que el nivel trófico superior en cualquier comunidad tiene una eficiencia ecológica de 0, por definición.

Para propósito prácticos, la eficiencia ecológica puede considerarse como una constante y puede esperarse que futuras estimaciones de ella tiendan a converger en valores de alrededor de un 10 %. Factores adicionales que debieran considerarse, son la relación entre la remoción de animales de una población como es la cosecha y, el tamaño de esta población y su consumo energético, la cual puede ser estudiada por medio de la eficiencia poblacional, donde si el proceso de la remoción no altera el consumo energético de la población, la eficiencia poblacional puede expresarse como el cociente de las calorías de la cosecha obtenida en la unidad de tiempo. Así mismo, una composición dada de edades dividida por el producto del consumo energético de la población, por la diferencia del contenido calórico de la población en su estado

estacionario respecto a las calorías que existirían, si no existiera remoción de individuos.

Una población en estado estacionario mantiene el número de animales, composición de edades y distribución de tamaños constante y para ser esto posible, la distribución de tamaños y edades de los elementos removidos debe ser constante.

Remover animales que están próximos a morir no tendrá mucho efecto en el costo de mantenimiento que tenga; mientras que para aquéllos con esperanzas de vida larga, aumenta drásticamente el costo de mantenimiento poblacional y consecuentemente, disminuye el tamaño poblacional.

Si disponemos de los datos apropiados, la eficiencia poblacional asociada con una estrategia de explotación, puede ser evaluada en términos de cambio en tamaño poblacional, consumo de energía, esperanza de vida y eficiencia de crecimiento. Si además contamos con datos de rendimiento, tamaño poblacional y consumo de energía para varias poblaciones, es posible resolver para la eficiencia poblacional que será asociada con un procedimiento de explotación que remueve solamente un tamaño o grupo de edad.

La eficiencia poblacional puede darse como función de la edad. La eficiencia poblacional relaciona el rendimiento al tamaño poblacional y permite obtener el proceso más eficiente de explotación de un recurso; donde una explotación prudente debe de hacerlo de tal forma que maximice su rendimiento y al mismo tiempo maximice la eficiencia poblacional de las presas.

## **V.- MODELOS DE SIMULACIÓN Y METODOLOGÍAS DE TRABAJO**

En general, para los diferentes tipos de modelos de simulación existen las siguientes metas en el manejo integral sustentable de los recursos naturales y ambientales de una región:

- a) La satisfacción de las necesidades humanas a través del desarrollo económico y humano.
- b) La conservación de los recursos naturales a través de su administración sustentable.
- c) Evitar la degradación del ambiente a través de medidas de protección, probadas y confiables.
- d) La minimización de conflictos para lograr estas metas, requiere del arreglo de convenios institucionales, adecuado financiamiento y recursos para investigación.

Todos los modelos propuestos para el manejo de los recursos naturales, ya sean éstos para el manejo de pesquerías, bosques, pastizales, control de plagas o agricultura, podemos clasificarlos en cuatro categorías y es necesario tener muy claro sus diferencias fundamentales, que es el tipo de modelo que se escoja, lo que determina los programas de recolección de datos e información necesaria y por lo mismo, es necesario entender de forma precisa, debilidades y fortalezas de los diferentes tipos de modelos. Difiriendo con respecto a las consideraciones en que están basados, utilidad analítica, sensibilidad y confiabilidad predictiva, así como la información requerida y los costos de coleccionar la información para construirlos. Estos modelos son:

1. Modelos que intentan explicar cambios en el recurso, basados solamente en factores intrínsecos a la población, los factores extrínsecos como es el clima, se consideran que permanecen constantes. Estos modelos consideran no solamente el número de elementos presentes en cada edad, sino también sus tasas de crecimiento permitiendo maximizar el rendimiento por recluta y, manipulando las tasas de mortalidad por explotación, así como la primera edad de explotación del recurso.
2. Modelos que usan métodos de regresión para relacionar las biomasa poblacionales en cada grupo de edad, en cada año, a la biomasa en uno o más grupos de edad del año previo. Utiliza datos de la estructura de edades de la captura o del segmento de población que es factible de tomar muestras, con aplicaciones al pronóstico de capturas. Solamente funciona bien cuando el ambiente es estable, para poder obtener alguna utilidad predictiva. Sin embargo, como el reclutamiento es uno de los aspectos más importantes de la productividad, el modelo tiene además en principio, una utilidad limitada.
3. Modelos que intentan explicar cambios en el tamaño de la población, sobre las bases de la relación entre el tamaño del grupo reproductivo y el tamaño resultante de crías. Ignora el hecho de que todas las funciones de un animal o planta, cambian con la edad, por lo que cambios en la estructura de edades, disminuyen fuertemente la habilidad del modelo.
4. Modelos complejos no-estacionarios, donde es posible incluir tantos factores ambientales como sean necesarios para construir el modelo.
5. Modelos con incorporaciones de elementos como: competencia, interacción depredador-presa, parasitismo, dispersión de enfermedades e incorporación de posibles estrategias implantadas por el hombre.

No importa qué tipo de ecuación es la más indicada para describir un sistema complejo, el problema a enfrentar en todos los casos es de determinar la estructura particular para el modelo que nos da la descripción más realista del sistema. Y una vez que el modelo ha sido derivado y los parámetros han sido estimados, podemos utilizar algunos métodos para encontrar como maximizar la productividad de una especie útil o minimizar la abundancia y reproducción de una plaga.

Los modelos de rendimiento por recluta, maximizan el rendimiento de un recurso manipulando la mortalidad de explotación y la edad de mínima o primer entrada en el proceso de explotación, considerando que se dan condiciones ambientales constantes. Sin embargo, sabemos que la mayoría de los recursos naturales son regulados precisamente por las condiciones cambiantes del ambiente, por lo que es necesario introducir estos efectos así como los efectos de denso dependencia del reclutamiento sobre los stocks de desovantes, dispersión, competencia interespecífica, depredación, parasitismo, enfermedades y otros factores, si queremos obtener una metodología de aplicación universal.

Por ejemplo, los marismas. Terrenos bajos a orillas del mar que se inundan con las mareas, son de gran importancia biológica en los que la acumulación de agua y ricos sedimentos permite el florecimiento de la vida. En ellas viven microorganismos, diminutos invertebrados, peces, anfibios, reptiles, mamíferos y sobre todo aves. También las marismas tienen una flora característica, como juncos, espadañas y carrizos. El interés biológico de las marismas hace que muchas estén incluidas en convenios internacionales de protección. Estos convenios garantizan la conservación de estos humedales, espacios que son muy sensibles a la contaminación, la erosión, la desecación y otras amenazas.

#### a) **SIMULACIÓN BÁSICA POBLACIONAL**

La tasa de variación ( $dx/dt$ ) de la población ( $x$ ) será proporcional a ella misma  $dx$ , y si el alimento y el espacio físico son abundantes tendremos, que:

$$\frac{dx}{dt} = rx \quad (1)$$

Donde  $r$  la "tasa de incremento poblacional" toma un valor real positivo.

La población  $x(t)$  de la especie  $E$  crece de acuerdo con la solución de la ecuación (1) del modo siguiente:  $x(t) = x(o) \exp(rt)$  (2)

Donde  $x(0)$  es la población inicial en el tiempo  $t = 0$ ; que nos da un crecimiento ilimitado, de la ecuación, conocido también como “Modelo de Malthus”.

Sin embargo, como el sistema ecológico es cerrado, significa que tanto el alimento como el espacio, a pesar de ser abundantes, no son ilimitados, es decir, que debe existir un límite al crecimiento.

La población después de alcanzar un cierto número, comenzará a competir entre ellos mismos. El modelo (1) no considera esta última situación y por lo mismo no cumple con el hecho de limitar el crecimiento poblacional. El caso más simple de la ecuación diferencial que cumple con las condiciones, será el siguiente.

$$\frac{dx}{dt} = rx(b + rx) \quad (3) \text{ Donde } b, r \neq 0$$

Nótese que  $X_k = -b/a$  es el “valor máximo que la población puede alcanzar”,  $X_k$  debe tener valores positivos,  $b$  y  $r$  deben tener signos diferentes. La solución de (3) nos da la familia de “curvas logísticas”, respecto al valor inicial.

$$x(t) = \frac{bx(0)}{-rx(0) + (b + rx(0)) e^{px}} \quad (4)$$

Con valores “ $b$ ” negativo tenemos una población crítica de  $X_R$ , de forma que si la población inicial es menor a este valor, la población tiende o “va a la extinción”, y si la población inicial es mayor, “crece sin límites”.

Podemos analizar el caso general en la dinámica de una población sola, como  $\frac{dx}{dt} = F(x)$  (5)

Es decir de crecimiento denso-dependiente. Desarrollando en series de Taylor, tenemos que:

$$F(x) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i x^i \quad (6)$$

$$\text{Con } F(0) = 0 \text{ y } F(x_R) = 0 \quad (7)$$

Suponiendo que;

$$\frac{dx}{dt} = bx^i + rx^R \quad (8)$$

Con “ $b$  positivo y  $r$  negativo” la familia de soluciones de (8), se obtienen un comportamiento similar al de la ecuación (4), es decir de “la familia logística”.

Si por otra parte, suponemos un “tamaño poblacional caótico”,  $X_c$  de tal forma que cualquier población que alcance un “tamaño sub caótico” respecto a  $X_c$ , “significara la extinción de esta”; en cambio para una “población súper caótica”, es decir mayor de  $X_c$ , se desencadenara un crecimiento que estará acotada por  $X_R$ ”.

Un caso general y simple de esta dinámica, podrá representarse por:

$$\frac{dx}{dt} = ax^i + bx^R + c^h \quad (9)$$

## b) PROCESOS DE NATALIDAD - MORTALIDAD

Considerando que el tonelaje de peces capturados en el intervalo de tiempo (0,t) en una zona de M toneladas. Si M es grande y t es pequeña, “cada captura es un evento aleatorio independiente” con probabilidad  $rt$ .

Si  $P_0$  es la probabilidad de cero capturas:

$$P_0 = \text{Prob (no capturar)} = (1 - rt)^N$$

$$P_1 = \text{Prob (de capturar una ton)} = Nrt(1 - rt)^{N-1}$$

$$P_z = \text{Prob (de capturar dos tons)} = \binom{N}{z} (rt)^z (1 - rt)^{N-z}$$

$$P_i = \text{Prob (de capturar i tons)} = \binom{N}{i} (rt)^i (1 - rt)^{N-i} \quad (1)$$

La función generadora de la secuencia se define como:

$$F_N(t, x) = \sum_{n=0}^N P_n X^n \quad (2)$$

De los coeficientes de (1), podemos ver que:

$$F_N(t, x) = (1 - rt + rtx)^N \quad (3)$$

Haciendo  $x=1$  tenemos que  $\sum_{n=0}^N P_n = 1$

El número esperado de captura será:

$$\left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{x=1} = \sum_0^N nP_n = Nrt \quad (4)$$

Si consideramos que  $Nr = \lambda$ , donde  $\lambda$  es dependiente del tamaño poblacional  $N$ , entonces:

$$\frac{F_N}{N} = (1 + \lambda t(x-1))^N \quad (5)$$

Que tiende al valor de  $e$ , cuando  $N$  es muy grande.

Para el caso de que tengamos una población muy grande, tendremos que:

$$P_0 = e^{-\lambda t}, P_1 = e^{-\lambda t} \lambda t, \dots, P_r = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^r}{r!} \quad (6)$$

$$y F(t, x) = e^{\lambda t(x-1)} \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{x=1} = \lambda t = \sum_{n=1}^{\infty} nP_n \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial X^2} = \lambda^2 t^2 = \sum n(n-1)P_n = \sum n^2 P_n - \sum nP_n = \sum n^2 P_n - \lambda t \quad (9)$$

Donde la varianza está dada por

$$\sigma^2 = \sum n^2 P_n - (\sum nP_n)^2 = \lambda t \quad (10)$$

Calculando los tiempos de espera entre capturas, si  $(t)$  es el tonelaje capturado hasta el tiempo  $t$ . Si el tonelaje capturado es una pequeña fracción del tonelaje total existente; es razonable considerar que el comportamiento del proceso de espera entre capturas será independiente de su historia ocurrida en el pasado. Esto es que:

$$\begin{aligned} & \text{Prob} \left[ \text{capturar} (n_1 + n_2 \text{ toneladas en el tiempo } (t_1 + t_2)) \middle| n_1 \text{ dado que se capturo } n_1 \text{ en el tiempo } t_1 \right] \\ & = \text{prob} [\text{capturar } n_2 \text{ toneladas en el tiempo } t_2] \\ (11) \end{aligned}$$

La probabilidad de no captura en el intervalo  $(t_1, t_1 + t_2) = e^{-\lambda t_2}$  será, (12)

Para pequeños intervalos de tiempo  $\partial t$ ,

$$\text{prob} [\text{capturar una tonelada de peces en el intervalo}] \left( t_1 + t_2, t_1 + t_2 + \partial t \right) = \lambda \partial t \quad (13)$$

$$\text{Y su tiempo de espera será, } T = e^{-\lambda \sigma t} \quad (14)$$

$$\text{Esto es si } T \text{ es el tiempo de espera, en el límite: } \text{prob} \left( t \leq t < T + dt \right) = \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (15)$$

$$Y (T) = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (16)$$

En una secuencia de capturas, si  $T$ , es el  $\Delta$ -esimo tiempo de espera, entonces

$$P_n(t) = \text{Prob}(T_1 + \dots + T_n \leq t, \text{ y } T_1 + \dots + T_{n+j} > t) \quad (17)$$

Calculando  $P$  en  $(t)$  de sus incrementos infinitesimales, usando la expansión en series de potencias de la función exponencial de (6), tendremos que:

$$\text{Prob} [\text{de no capturas en el intervalo}] (t, t + \partial t) = e^{-\lambda \sigma \partial t} \quad (18)$$

$$\text{Prob} [\text{de una captura en}] (t, t + \partial t) = \lambda \partial t e^{-\lambda \sigma t} = \lambda \sigma t + o(\partial t^2) \quad (19)$$

$$\text{Prob} [\text{de 2 o mas capturas en}] (t, t + \partial t) = o(\sigma^2) \quad (20)$$

De esto vemos que:

$$P_n(t + \partial t) = P_n(t)(1 - \lambda \partial t + o(\partial t^2)) + P_{n-1}(t)(\lambda \partial t + o(\partial t^2)) + o(\partial t^2) \quad (21)$$

Arreglando términos, dividiendo por  $\partial t$  y tomando el límite conforme  $\partial t \rightarrow 0$ , obtenemos el sistema de ecuaciones diferenciales.

$$\frac{dP_n}{dt} = P_n - \lambda P_n + \lambda P_{n-1}; \quad n = 0, \dots \quad (22)$$

Con condicionales iniciales,  $P_n(0) = 1$ ,  $P_i(0) = 0$  para  $i > 0$  (23)

Podemos también derivar la función generatriz  $F(x, t)$  de este sistema sumando las relaciones de (22) después de multiplicarlas por  $x^n$ , y tendremos;

$$x \frac{d}{dt} \sum x^n P_n(t) = \sum -\lambda x^n P_n(t) + \sum \lambda x^n P_{n-1}(t) \quad (24)$$

$$\frac{\partial F}{\partial t}(x, t) = -\lambda F + \lambda x F = \lambda(x-1)F \quad (25)$$

con  $F(0, x) = 1$ ; Integrado vemos que:  $\lambda(x-1)^t$

$$F(t, x) = e^{\lambda(x-1)t} \quad (26)$$

El proceso de *Poisson*, puede tomarse como un modelo simple, del número de encuentros de un predador y su presa; también para procesos espaciales, como la aparición de un tipo de planta a lo largo de un trayecto de muestreos.

### c) CRECIMIENTO POBLACIONAL “ESTOCÁSTICO”.-

La verdad es que el crecimiento poblacional es “estocástico” donde uno solo puede decir que hay cierta probabilidad de que se dé un incremento en un intervalo de tiempo. El proceso “estocástico de natalidad” puede ser expresado, para un cierto intervalo de tiempo corto  $\Delta t$  la probabilidad de que se dé un proceso de nacimiento en una población de tamaño  $N$  será  $rN\Delta t$ .

Entonces, “la probabilidad” de que la población “sea de tamaño  $N$ ” en el tiempo  $t + \Delta t$  será  $P_N(t + \Delta t) = P_{N-1}(t)r(N-1)\Delta t + P_N(t)(1-rN\Delta t)$  (4)

Haciendo el intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) cada vez más pequeños de tal manera que tienda a cero, tendremos:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_N(t + \Delta t) - P_N(t)}{\Delta t} = \frac{dp}{dt}(t); \text{ Así que:}$$

$$\frac{dp}{dt} = P_N(t) = -r_N P_N(t) + r_{(N-1)} P_{N-1}(t) \quad (6)$$

Como se trata de un proceso de “natalidad pura” es decir que no ocurren muertes y consecuentemente el tamaño poblacional nunca será menor de su valor inicial.

La “forma de la solución general” será

$$P_{N(t)} = \binom{N-1}{N_0-1} e^{-rN_0 t} (1 - e^{-rt})^{N-N_0} \quad (12)$$

Asumiendo que (12) es válido  $P_{N+1}(t)$  puede encontrarse por “inducción”, que:

$$P_{N+1}(t) = \frac{N}{N - N_0 + 1} \binom{N-1}{N_0-1} e^{-r(N+1)t} (e^{-rt} - 1)^{N-N_0} = \binom{N}{N_0-1} e^{-rNt} (1 - e^{-rt})^{N-N_0+1}$$

(13)

Que es de la misma forma que la ecuación (12)

#### d) CALCULO DE LA MEDIA Y LA VARIANZA POBLACIONAL

Si escribimos el valor esperado de la población en el tiempo  $t$  cómo:

$$N(N/t) = \sum_{j=N_0}^{\infty} j P_j(t) = e^{-r(N_0)t} \sum_{j=N_0}^{\infty} (N_0 + k) \binom{N_0+k-1}{k} (1 - e^{-rt})^k$$

$$= N_0 e^{-r(N_0)t} \sum_{j=N_0}^{\infty} \binom{N_0+k-1}{k} (1 - e^{-rt})^k = N_0 e^{-r(N_0)t} \left( e^{-rt} \binom{N_0}{0} + \dots + e^{-rt(N_0+1)} \binom{N_0}{N_0} \right) = N_0 e^{-rt}$$

Así que el tamaño poblacional esperado en el “caso estocástico” es igual al pronosticado por el “proceso determinístico”.

El tamaño de una población, en un área dada será determinada, por los “procesos de emigración e inmigración, mortandad y reclutamiento”.

Si  $\phi^t$  es la probabilidad de que un animal sobreviva en el lapso de tiempo  $(0, -t)$  y si inicialmente tenemos una población de  $N_0$  animales,

debemos esperar que;  $N_t = N_0 \phi^t$  se encuentren con vida en el tiempo  $t$ .

### e) ESPERANZA MEDIA DE VIDA

Si  $T$  es el tiempo en que un miembro de  $N_0$  muere, entonces:

$$F(t) = pr(T \leq t) = 1 - pr(T > t) = 1 - pr(\text{un animal sobreviva hasta } t) = 1 - \exp(-\mu t)$$

y  $T$  tendrá una función de densidad probabilística de

$$f(t) = F'(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad t \geq 0$$

y la esperanza media de vida será.  $E(t) = \int_0^{\infty} \mu t e^{-\mu t} dt = 1/\mu = -1/\log \phi$  (3)

### f) PATRONES DE DISTRIBUCION ESPACIAL; DISTRIBUCIÓN DE POISSON.-

Si una población tiene una distribución aleatoria en el espacio, la probabilidad que una unidad de área contenga  $r$  individuos será una

distribución de Poisson dada por  $\rho_r = \frac{\lambda^r e^{-\lambda}}{r!}$ ; Donde  $\lambda$  es el número

medio de individuos por unidad de área.

Si tenemos un número  $n$  grande de localidades, donde es ocupada por un individuo y la probabilidad  $\rho$  de ser ocupada es la misma, luego la probabilidad que exactamente  $r$  localidades sea ocupada está dada por

la distribución de probabilidad Binomial;  $\binom{n}{r} \rho^r (1-\rho)^{n-r}$ ; Si  $n$  es muy grande,  $\rho$  es pequeña y la media de la distribución media será,  $n\rho = \lambda$

Si es de tamaño moderado y  $r$  la tasa de crecimiento es despreciable en tamaño comparado con  $n$ , entonces:

$$\rho r = \binom{n}{r} \rho^r (1-\rho)^{n-r} \sim \frac{(n\rho)^r}{r!} (1-\rho)^n = \frac{\lambda^r (1-\lambda/n)^n}{r!} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \frac{\lambda^r e^{-\lambda}}{r!}$$

Cuando los organismos están fuertemente esparcidos en relación con toda la colección de unidades que el área puede contener y de que cada localidad tiene la misma probabilidad de ser ocupado, el número de individuos por unidad será una distribución de Poisson. La distribución de Poisson, raramente se ajusta de frecuencias observadas de número de individuos por unidad de área.

La función generadora de probabilidades (*fgp*) de la distribución de Poisson es:

$$\begin{aligned} g(z) &= \rho_0 + \rho_1 z + \rho_2 z^2 + \dots \\ &= e^{-\lambda} + \lambda e^{-\lambda} z + \frac{\lambda^2 e^{-\lambda}}{2!} z^2 + \dots \\ &= e^{\lambda(z-1)} \end{aligned}$$

Con media  $\left. \frac{d g(z)}{dz} \right|_{z=1} = g^1(1) = \lambda$  y varianza  $g^{11}(1) + g^1(1)(1 - g^1(1)) = \lambda$

Para la distribución de la Poisson la media y la varianza son iguales. Es frecuente encontrar que la varianza exceda a la media, cuando esto sucede el patrón de distribución se dice que es agregado y la distribución de frecuencias se describe como contagiosa.

## g) DISTRIBUCIONES COMPUESTAS

Si los individuos son independientes uno de otro o no asociados y si todas las unidades de áreas disponibles son idénticas, su patrón de distribución será aleatorio. Si suponemos que algunas unidades son diferentes, es decir que algunas provean ambientes más favorables que otros, de tal forma que el número esperado de individuos en una unidad, varía de unidad a unidad de tal forma que el número esperado de individuos en la unidad de área  $\lambda$ , es una variable aleatoria; si consideramos que tiene una distribución Pearson-Tipo III. Una variable tipo III, puede tomar cualquier valor no-negativo y la curva ser uní-modal o de forma de J. Entonces, podemos considerar que la función de densidad probabilística de  $\lambda$  será:

$$f(\lambda) = \frac{1}{\Gamma(R)} \left( \frac{1}{p} \right)^R \lambda^{R-1} e^{-\lambda(1/p)} (\lambda \geq 0), \text{ luego:}$$

$$p_r = \frac{1}{r! \Gamma(R)} \left( \frac{1}{p} \right)^R \int_0^\infty \lambda^{r+R-1} e^{-\lambda(1/p)} \lambda \partial \lambda = \frac{1}{r! \Gamma(R)} \left( \frac{\Gamma(r+R)}{(1+p)^{r+R}} \right)^R = \frac{\Gamma(r+R)}{r! \Gamma(R)} \frac{P^r}{Q^{R+r}}$$

Donde  $Q = 1 + P$ ; Que es la distribución Binomial negativa.

-En general, podemos decir que a cada distribución compuesta, corresponde una distribución generalizada y viceversa.

-A menudo se observa que dos o más distribuciones se ajustan al conjunto de datos observados; por lo que sería inútil de obtener una conclusión simplemente examinando la distribución observada del número de individuos por unidad de área, de los mecanismos intrínsecos manifestados a través de un patrón particular de distribución observado.

-Se debe concluir que el ajuste de distribuciones de frecuencia teórica a los datos observados, nunca pueden por sí mismos "explicar" los patrones de distribución de una población natural.

## **VI.- CONCLUSIONES**

En la modelación del impacto por la explotación de un recurso, nuestros estudios de diagnóstico, simulación y pronóstico, apoyados en las metodologías de simulación de enfoque de sistemas, es donde escogemos las variables y las reglas adecuadas y necesarias para determinar los elementos que gobiernan la dinámica en el sistema de estudio, con lo que podemos predecir los cambios de dichos sistemas a través del tiempo.

El resultado de esta fase de estudio ha de ser una primera percepción de los elementos que tienen relación con el problema planteado, por lo que debemos conocer los elementos que forman el sistema y las relaciones que existan entre ellos, incluyendo sólo aquellos elementos que tienen una influencia razonable sobre nuestro objetivo, que es la de proponer acciones para solucionar el problema, basados en las cuatro etapas fundamentales del proceso y uso del modelo, las cuales, son las siguientes: Desarrollo del modelo conceptual; Desarrollo del modelo cuantitativo; Evaluación del modelo; y Uso del modelo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Blackburn, M. (1962). "An Oceanographic study of the Gulf of Tehuantepec" U.S. Fish Wildl. Serv. Spec. Rep., Fish Num. 404.*
- Levins, R. (1969). "The effect of random variations of different types on population growth" Proc. Nat. Acad. Sci. 62, 1061-1065.*
- Lewontin, R. C. and Cohen D. (1969). "On population growth in a randomly varying environment". Proc Nat. Acad. Sci. 62, 1056-1060.*

- Pella, J. J. (1967). *A study of methods to estimate the Schaefer model parameters with special reference to the yellowfin tuna fishery in the eastern tropical Pacific Ocean*. PnD Tesrs, Union of Washington.
- Pella, J. J. and P. K. Tomlinson (1969). "A generalized stock production model". *InterAmerican Trop. Tuna Comm., Bull.*, 13(3): 421-496.
- Pielou, E. C. (1969). *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience, New York and London.
- Schaefer, M. B. (1954). "Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the comercial marine fisheries". *Inter-American Trop. Tuna Comm., Bull.*, 1(2): 25-56.
- Stumpf, G. H: (1974), "Satelite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico" *J. Phys. Ocean.* 5, 383-387.

## **BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL CONSULTADA**

- Bertalanffy, L. V. (1968) *General System Theory*, Brazillier, Nueva York.
- Cannon, W. B. (1929) *Organization for physiological homeostasis*, *Physiological Review*, 9, 399-431.
- Boulding, K. E. (1985) *The world as a total system*. Thousand Oaks, Beverly Hills: Sage Publications.
- Emery, F. E. (1969) *Systems Thinking: Selected Readings*, Penguin, Nueva York.
- Deutsch D. (1997) *The Fabric of Reality*. Penguin Books. Foerster, Heinz Von and
- George W. Zoff (1962) *Principles of Self-Organization*, Pergamon Nueva York.
- Forrester, J. W. (1969) *Industrial Dynamics, Productivity*. The MIT Press.
- Garrido, F., González de Molina M., Morin E., Serrano J. L., Solana J. L., Victor
- Toledo Angel Valencia (2007). *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*.
- Icaria Antrazyt. Pp 301. Grant E. W., S. Marin L. y K. Pedersen E. (2001). *Ecology and Natural Management: System Analysis and Simulation*. John Wiley & Sons.
- Inc. Green, D. G. (1994) *Connectivity and Complexity in landscapes and ecosystems*. *Pacific Conservation Biology*, 1(3): 194-200.
- Haken Hermann (1987) *Synergetics: An approach to Self-Organization*, en F.
- Eugene Yates (ed.), *Self-Organizing Systems*, Plenum, Nueva York.
- Holland, J. H. (1995) *Hidden Order: How adaptation breeds complexity*, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA.
- Jorgensen, S. Mejer, H. and S. Nielsen. (1998) *Ecosystem as Self-organizing critical systems*, *Ecological Modelling*. 111: 261-268.
- Kauffman, S. (1993) *The Origins of order: Self-organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press, New York.

Kosko, B. (1993), Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic, Hyperion.

Langton, C. (1990) Computation at the edge of chaos: phase transitions and emergent computation, *Physica D*, 42: 12-37.

Levins, R. (1968). *Evolution in Changing environments*. Princeton: Princeton University Press.

Lilienfeld, Robert (1978) *The rise of System Theory*, John Wiley, Nueva York.

Lotka, A. J. (1925) *Elements of Physical biology*. Baltimore: Williams and Wilkins.

May, R. M. (1972b) Will a large complex system be stable?. *Nature*, 238, 413-414.

Mingers, J.(1995) *Self-Producing Systems*. Plenum Nueva York.

Patten, B. C. (1991) *Network Ecology*, en Higashi, M. y T.P. Burns, *Theoretical Studies of Ecosystems: The Network Perspective*, Cambridge University Press, Nueva York.

Prigogine, I. (1980) *From Being to Becoming*, Freeman, San Francisco.

Ritter, O.W. (1996.) *Ciencia; predicción y entendimiento en el mundo moderno*. Geo-UNAM. vol. 3 no. 1 págs. 26-29.

Ritter, O.W., Klimek G.R. (1997) La relación ciencia-educación y la búsqueda de un nuevo perfil académico. *Ciencia y Mar*, I(1), pp.31-35.

Ritter, O.W., P. Mosiño A. y R, Patiño M., 2000. Predicción y naturaleza. *Revista Ciencia y Desarrollo*. Julio / Agosto del 2000. Volumen xxvi, No. 153.

Ritter O.W., Guzmán S. R., Sánchez N., (2002). El clima como sistema complejo adaptativo en coevolución. *Revista "Ciencia y Mar"*. mayo/agosto. volumen VI, número 17.páginas 23-35.

Ritter O.W., Guzmán S. R., Sánchez N., Sánchez R., Suarez S. J., Perez E. T.(2007). *Sistemas y más sistemas; ¿es todo en el mundo un sistema?* *Ciencia*, enero/marzo, vol. 58, núm. 1.

Rosen, R. (1970) *Dynamical System theory in biology*. Vol. I. New York: John Wiley and Sons. Shannon, C. E., W.

Weaver (1949). *The Mathematical theory of communication*, Urbana, University of Illinois Press.

Schrodinger E. (1969) *What is life?* Cambridge University Press.

Tabor,M.(1989) *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics*. Wiley-Interscience, Nueva York.

Thom, R., (1972). *Stabilité structurelle et morphogenese*. Ediscience, Paris.

Villa, F. (2000) *Integrating Modelling Toolkit*, Institute for Ecological Economics, University of Maryland, USA.

Von Neumann y O. Morgenstern (1974). *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press, 3a edition.

Wiener, N. 1948, *Cybernetics*, John Wiley & Sons, Nueva York.

Wolfram, S. (1984) *Cellular automata as models of complexity*, *Nature*.

