UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA VOLUMEN I NUMERO I

MODELO SIMULADO DE FUNCIONAMIENTO DEL ECOSISTEMA SILVOAGROPECUARIO

JUAN M. GASTO C.
RAUL CAÑAS C.

Octubre, 1975
SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

MONOGRAFIA TECNICO-CIENTIFICA VOLUMEN 1 NUMERO 1

MODELO SIMULADO DE FUNCIONAMIENTO DEL ECOSISTEMA SILVOAGROPECUARIO

Juan M. Gastó C.

Raúl Cañas C.

Octubre, 1975

SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	1
FUNCIONAMIENTO	8
Productividad Abiótica	10
Productividad Vegetal	33
Productividad del Herbívoro	38
Productividad del Carnívoro	51
Productividad del Omnívoro	51
EMPLEO DEL MODELO DE FUNCIONAMIENTO EN DOCENCIA, INVESTIGACION Y PRODUCCION	56
BIBLIOGRAFIA	68

Modelo simulado de funcionamiento del ecosistema silvoagropecuario.

Juan M. Gastó C. * y Raúl Cañas C.**

Introducción

La unidad ecológica silvoagropecuaria, donde el hombre vive y de la cual depende, es el ecosistema. Se le ha considerado como una unidad, ya que el proceso general de funcionamiento es uno, integrado y holocenótico. A diferencia de otros organismos, la adaptación del hombre al medio o ecosistema es más bien a través del desarrollo especializado de su cultura en lugar de sufrir modificaciones biológicas de adaptación de la especie (Golomb y Eder, 1964).

Los científicos que han estudiado la naturaleza, han empleado enfoques muy diversos para escudriñar sus propiedades más íntimas y ocultas. En este proceso de estudio, que debe tener el doble atributo de ser detallista, pero sin perder su noción de conjunto, se ha logrado acumular a través de los años, volúmenes grandiosos de información científica. A pesar que el detalle

---

* Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Profesor de Ecología del Colegio de Graduados, de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Mexico.

** Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Profesor de Ciencia Animal de la Universidad Católica de Chile.

de cada uno de los procesos no deja de ser valioso, las limitaciones de uso se han magnificado debido a la falta de una visión de conjunto y la incapacidad de integrar los componentes del ecosistema. El ecosistema se ha desmenusado para su estudio siguiendose un enfoque merológico en fracciones tan pequeñas, que llegan a tener propiedades y atributos diferentes de las que les corresponde en su funcionamiento holológico, al segundo nivel de integración, el de la naturaleza.

La comprensión del primer nivel de integración, el de la materia, que es valiosa para comprender al ecosistema; no es suficiente para explicar y cuantificar su funcionamiento. Es por ésto, que es necesario integrar en una unidad funcional y de arquitectura, a cada una de las partes analizadas y construir el modelo general que tiene características holocenóticas diferentes a las de cada una de sus partes.

Es difícil relacionar componentes aislados que aparentemente no tienen nexo, e incluso es más difícil aún aceptar el concepto de ecosistema con todas sus connotaciones de unidad funcional y real. De hecho, éste concepto es tan complejo que a menudo el escepticismo de los científicos lo ha visto dubitativamente. Sólo durante los últimos años, la ecología, ciencia integradora por excelencia, ha comenzado a ser tratada con la atención que se merece y se le ha comenzado a asignar un sitial como ciencia integradora. La acumulación de hechos silvoagropecuarios parciales, y su empleo en forma aislada, sin seguir una metodología unificadora, en la cual se integren los principios generales que les regulan y definen, no es ciencia sino arte.

El método científico puede definirse como la búsqueda de la verdad, determinada por la lógica y la experimentación. Ciencia, según la

definición de Poincaré, es ante todo una manera de relacionar hechos que las apariencias separan por más que estén unidos por algún parentesco natural y oculto. La ciencia silvoagropecuaria, para que merezca tal denominación debe ser estudiada, aplicada y tratada como una unidad, que es el ecosistema. El acopio de información detallista no unificada en torno al modelo y explicada deductivamente en relación a principios y leyes generales, no cumple necesariamente con el cometido de darle a los estudios del agro el carácter de universidad y aplicación general que deben tener.

Una forma de estudiar el modelo ecológico de la naturaleza es separándolo en dos partes: funcionamiento y arquitectura. Cualquier clasificación que se haga es, sin embargo, selectiva y por ello es también arbitraria (Hospers, 1954). Esta forma de estudio, es análoga, a la que se sigue en biología donde los organismos se estudian desde un punto de vista fisiológico o de su funcionamiento, y anátomo-morfológico o de su arquitectura. La ecología ha sido definida como el estudio de la estructura y funcionamiento de la naturaleza (Odum, 1962). El significado que se le ha dado al término funcionamiento en el presente trabajo es más restringido que el asignado por el autor citado, pues no se incluye a la regulación del funcionamiento de parte de la arquitectura del modelo. El concepto de arquitectura en cambio, es más amplio que el que se le dá a estructura; aunque en los aspectos fundamentales, sin embargo, son equivalentes.

El proceso general de funcionamiento de los ecosistemas silvoagropecuarios más diversos, es uno sólo. La magnitud y las tasas o flujos de cada etapa y proceso, puede variar de uno a otro, pero en sus aspectos fundamentales de funcionamiento, no existen diferencias apreciables, ya sea que se trate de cultivos, praderas, matorrales, bosques, lagos, o incluso de barbechos.

El proceso general es el mismo, aunque en algunos casos, el número de etapas pueda variar. Así se tiene que en el caso del barbecho el proceso concluye en la productividad abiótica; en la pradera, bosque y cultivo, concluye en la producción vegetal y en la ganadería, concluye en el herbívoro o en el carnívoro. La longitud de la cadena o red trófica puede ser más prolongada al tratarse de ecosistemas que concluyen en carnívoros de diversa índole.

El proceso general de funcionamiento está regulado por la cantidad y calidad de los recursos que ingresan y se extraen del ecosistema, como también por su arquitectura. La influencia de la arquitectura en cada uno de los procesos y etapas es diferente, tanto en su acción como en los parámetros reguladores del funcionamiento. Dentro de este tema tan amplio y complejo se incluye a los recursos, fitocenosis y zoocenosis, considerándose además la acción catalizadora del habitat.

La cuantificación de la acción reguladora del funcionamiento, de parte de la arquitectura del sistema no corresponde ser analizada en el presente trabajo. Su análisis es complejo y complicado, por lo cual debe ser estudiado separadamente. En el presente estudio aparece un signo circular (o) y cada vez que aparece este signo debe interpretarse como un mecanismo regulador centrado en la arquitectura, cuya determinación cuantitativa debe hacerse calculando la ecuación o el modelo general que le defina. En la literatura silvoagropecuaria se encuentra suficiente material publicado que permite descifrar la acción de algunos de estos mecanismos reguladores.

Los atributos arquitectónicos fundamentales de los sistemas silvoagropecuarios son también análogos en todos los casos. Las formas vitales y la fisionomía son diferentes entre un bosque, un cultivo y una pradera,

pues en un caso se trata de arboles y en los otros de hierbas, pero los atributos de la arquitectura son generales tales como: dominancia, densidad, frecuencia, sociabilidad, vigor, periodicidad, biomasa, productividad, índice de area foliar, estructura edáfica, textura, porosidad del suelo, temperatura, viento y otras.

El objetivo fundamental de este estudio es hacer un análisis racionalista del modelo general de funcionamiento de sistemas silvoagropecuarios. Se ha tenido como objetivo que el estudio siga una metodología racionalista en lugar de hacer divisiones y agrupamientos arbitrarios de étapas y procesos que aunque pudiera resultar más directo para resolver algún caso particular, tiene el inconveniente de ser sólo de aplicación local o parcial, y a circunstancias muy restringidas.

El tratamiento racionalista del proceso aplicado a valores empiricos ya determinados y siguiendo las etapas y cauces naturales, mejora el entendimiento, hace la aplicación del modelo más general y a la larga resulta más simple y de validez universal a circunstancias y localidades diversas. Uno de los objetivos del análisis del funcionamiento es poder comparar diferentes arquitecturas ya que ingresos similares de recursos a sistemas de variadas arquitecturas, producen egresos cualitativa y cuantitativamente muy variadas (Figura 1).

La comparación de arquitecturas y funcionamientos diferentes permite establecer las bases de optimización de modelos, hasta llegar a simular al que maximice la eficiencia o productividad, de acuerdo a los objetivos perseguidos en la modelación. Esta es la estrategia más eficiente y directa de determinar las características fundamentales que deben contener los modelos (Figura 2).

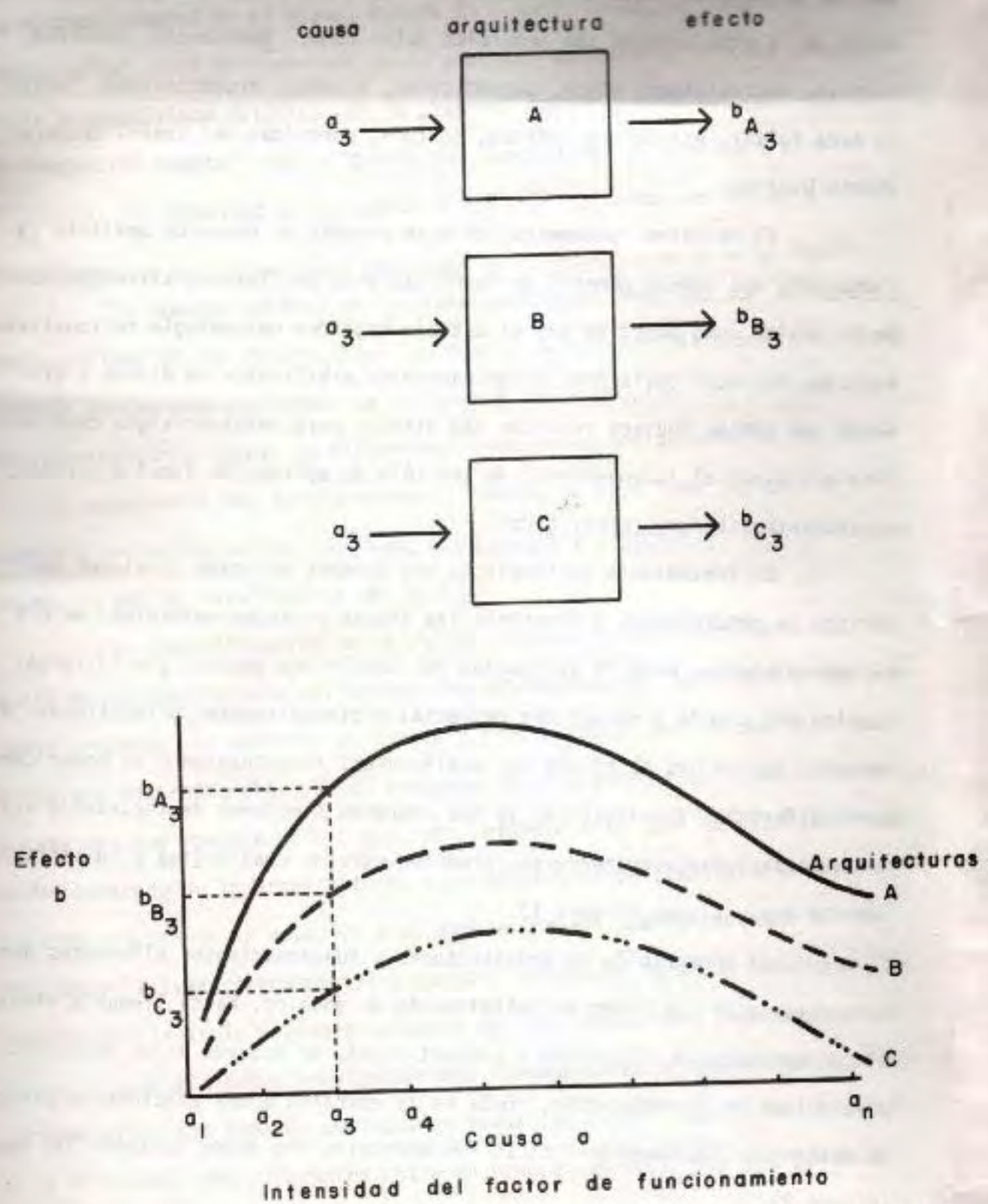


Figura 1. Esquema ejemplarizado del efecto de la variación de la arquitectura ordenada en forma de gradiente A, B, C, en la biocenosis expresado como b_{A_3}, b_{B_3}, b_{C_3}, al mantener constante la intensidad de un factor de funcionamiento a_3.

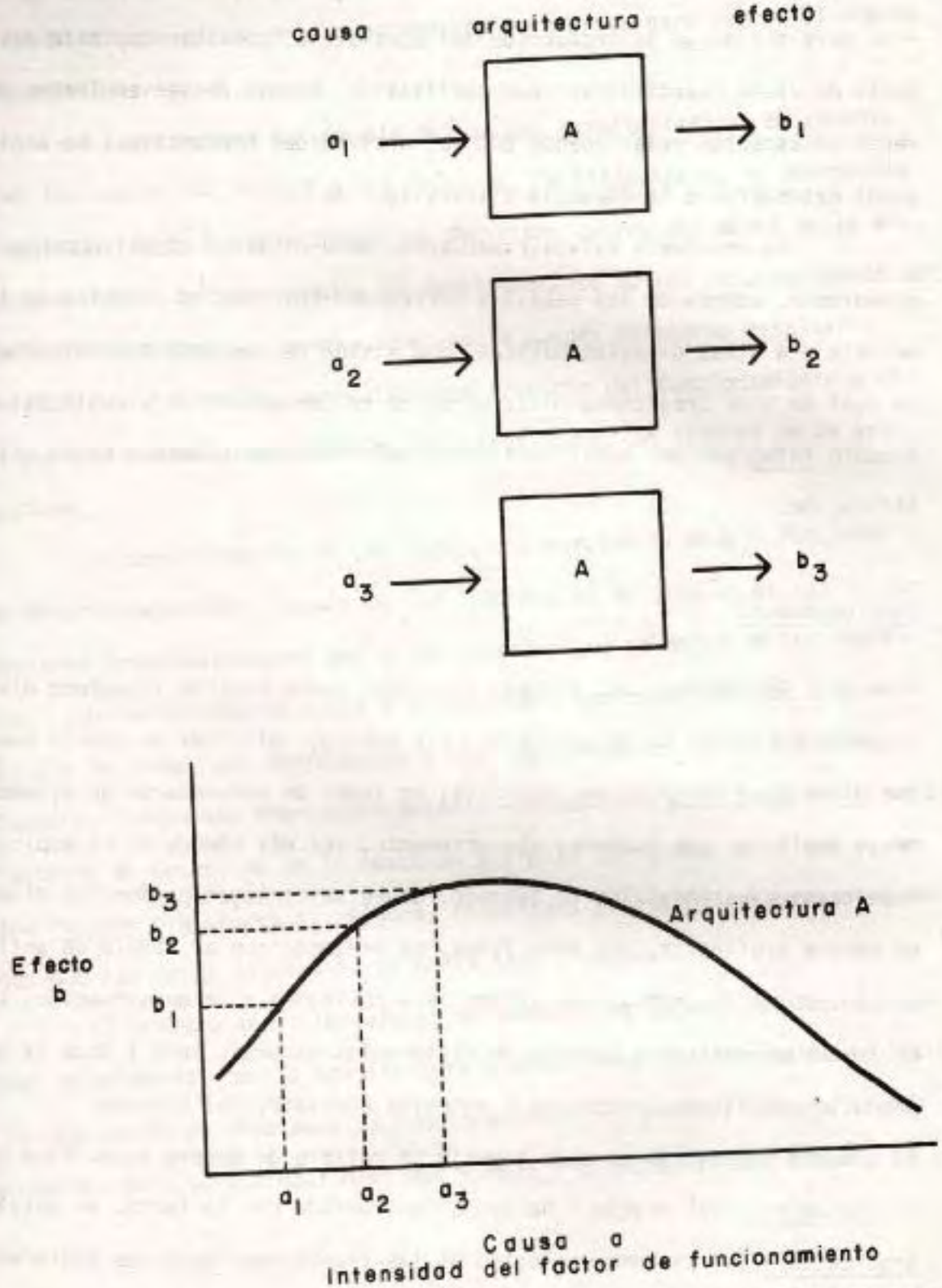


Figura 2. Esquema ejemplarizado de la variación de la intensidad del factor de funcionamiento a_1, a_2, a_3, en el efecto o reacción de la biocenosis interpretado en forma de b_1, b_2, b_3. (La letra mayúscula indica la arquitectura).

La justificación de este tipo de estudios no es otra que ofrecerle a los profesionales encargados de diseñar modelos, las herramientas necesarias para optimizar la producción del ecosistema, considerado tanto desde un punto de vista cuantitativo como cualitativo. Además de ser empleados directamente en aspectos relacionados con las actividades productivas, su acción puede extenderse a la docencia e investigación.

La enseñanza silvoagropecuaria, debe dictarse ofreciéndosele al estudiante, además de los detalles correspondientes a las ciencias de la materia y a otras ciencias básicas, una visión de conjunto o ecosistématica, la cual ha sido tradicionalmente ofrecida en forma parcial y cualitativa. El estudio integrado del ecosistema puede permitir eventualmente hacer esa cuantificación.

Funcionamiento

El análisis del proceso funcional puede hacerse siguiéndo diversos esquemas y etapas. Se ha preferido, sin embargo, utilizar un modelo que emplee una dialectica empirico-racionalista; en lugar de presentarse un esquema solamente empírico, que pudiera, aparentemente, ser más cómodo en el empleo de resultados experimentales de terreno, donde se conjugan parámetros diversos de manera arbitraria. En esta forma, se pretende que el modelo de análisis presentado en el trabajo sea válido para cualquier tipo de situación, tanto en lo que se refiere a modelos de fisionomías diversas como a toda la gama de productos abióticos, vegetales o animales egresados del sistema.
El estudio presentado en este trabajo se refiere de manera específica al funcionamiento del modelo. No se ha considerado por lo tanto, en detalle la arquitectura del sistema ecológico ni las transformaciones que pudieran existir

en ésta, al cosechar y manejar el modelo diseñado. La interpretación del funcionamiento, en la forma analizada en este trabajo se refiere solamante a los cambios que ocurren en los parámetros necesarios para operar el diseño arquitectónico original.

La arquitectura del modelo define sus características de construcción en las cuales se incluye a los recursos, la fitocenosis, la zoocenosis y al habitat. Bajo las circunstancias definidas dentro del marco de la arquitectura propia de cada modelo, el funcionamiento de los recursos puede ser parcialmente modificado, y como consecuencia pueden obtenerse resultados confundidos, en los cuales se evalúe como producto del funcionamiento a algunos egresos que sólo correspondan a la transformación interna de la arquitectura.

La cuantificación de los ingresos y egresos al modelo funcional puede estar enmascarada, además de las diferencias originadas en las transformaciones arquitectónicas, por otras causales que no dejan de ser importantes. Las relaciones de causa a efecto deben ser cuantificadas siguiendo una escala de tiempo que corresponda a los requerimientos de la reacción. El lapso de tiempo que transcurre desde el instante de aplicación de la causal al instante de detección de la reacción o efecto corresónde a lo que se denomina retardo o histeresis. Algunas reacciones ecosistémicas presentan retardos que van desde algunas horas hasta años o siglos.

El proceso de histeresis es de cuantificación más compleja en problemas relacionados con la arquitectura y transformación de modelos ecológicos. En la resolución de problemas de funcionamiento, el proceso no deja de ser importante, pero su evaluación es más simple y directa, siendo además, la

magnitud de la histeresis menor que en caso anterior.

En la literatura ecológica y silvoagropecuaria, el diseño y análisis de los modelos, se hace corrientemente con un criterio empirista. En él, y por razones de simple comodidad y conveniencias del momento, se estudian simultáneamente tres aspectos diferentes del modelo: la arquitectura, la transformación de la arquitectura y el funcionamiento. Es por ello, que cada estudio requiere de un nuevo diseño ad hoc que se adapte mejor a las circunstancias. La conjugación de los tres aspectos del diseño, en un sólo modelo conduce finalmente a aumentar la complejidad y a hacer más difícil la resolución de problemas.

El funcionamiento del ecosistema ha diso dividido en etapas y procesos. Las etapas siguen una secuencia lógica que se inicia con el aporte de recursos al sistema. En la primera etapa la secuencia alcanza hasta el nivelde productividad abiótica del sistema, en tanto que en la segunda se discute la utilización de la productividad abiótica y su transformación en productividad vegetal o primaria. La productividad del sistema puede concluir enel primer nivel trófico o puede ser transformada parcial o totalmente por el herbívoro o consumidor primario, siendo las etapas siguientes las del carnívoro primario, secundario, terciario o algún otro nivel más avanzado. Como alternativa general se presentan los consumidores politróficos, y en particular los omnivoros. Una parte de los recursos, ya sea en su nivel de integración de la materia o integrado en organismos vivos, egresa del sistema en tanto que el resto recircula.

Productividad abiótica

Seis procesos fundamentales han sido considerados en el análisis

de la productividad abiótica del sistema, siendo uno de ellos el del agua. Los procesos bioquímicos del ecosistema, e incluso algunos físicos cesan de funcionar ante la limitante de las disponibilidades hídricas. Varios estudios analizan en detalle las relaciones hídricas, entre los cuales puede mencionarse a los de Chow, 1964; Craft y Monninger, 1953; Rutter, 1968; Kozlowski, 1968 y Slatyer, 1967.

Los aportes externos de agua tienen dos orígenes diferentes. El aporte natural de agua ocurre por medio de las precipitaciones que se registran en el territorio ocupado por el sistema, siendo la magnitud de este aporte, fijada porlas características macroclimáticas del biotopo donde se encuentra ubicado el ecosistema. No tiene ninguna dependencia directa con la arquitecturapropia el modelo, o si tuviera alguna ésta sería de importancia fnfima e indirecta. Es por ello, que el aporte de agua precipitacional ha sido considerado como una característica propia del macroclima, en el cual, las pequeñas unidades ecosistematicas no ejercen ninguna acción reguladora sobre la magnitud del aporte (Figura 3).

La magnitud de los aportes precipitacionales varía de año en año. El rango de variabilidad está fijado en las características arquitectónicas macroclimáticas de cada zona (Gastó, 1966). Las diferencias anuales registradas en los aportes hídricos, afectan y hacen variar el funcionamiento del sistema.

Además del aporte de agua líquida o sólida al sistema, puede también existir un aporte gaseoso y de gotitas en suspensión en el aire en forma de neblina. La magnitud de este aporte no se conoce con precisión, pero algunos estudios indican que bajo circunstancias particulares pueden ser de

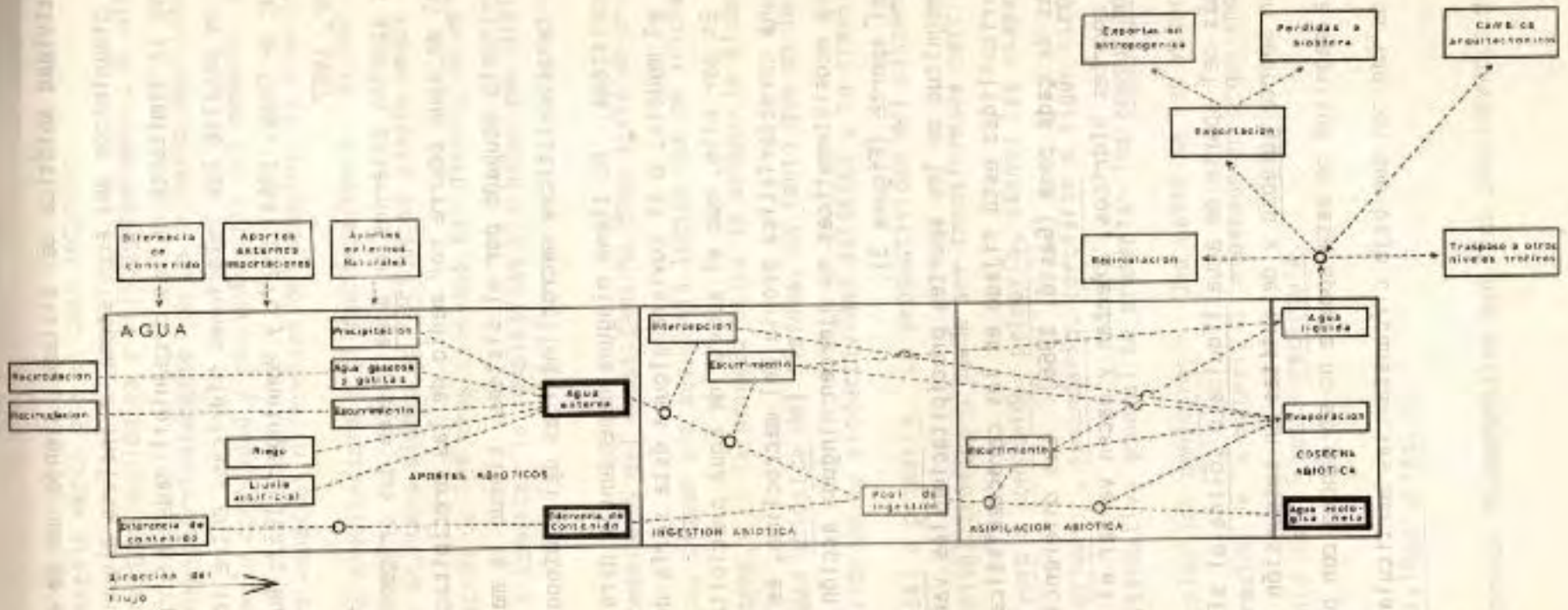


Figura 3. Aportes y pérdidas hídricas del sistema y modelo abiótico de flujo de agua. El signo o significado regulación arquitectónica definida por ecuación o modelo ad hoc para el proceso y etapa específica.

consideración. En zonas donde existe alta concentración de neblinas, como ocurre en la región costera o en algunos ambientes particulares, el aporte de agua externa en forma de gotitas en suspensión es elevado (Kummerov, 1966). En otros ambientes, donde no existe aporte de gotitas de neblinas, la humedad relativa puede ser elevada, al menos durante ciertas horas del atardecer o de la noche, y la gradiente de potenciales hídricos en el sistema suelo-planta-aire, puede invertirse. Cuando ello ocurre, el flujo hídrico del sistema va desde la atmosféra al suelo (Arentsen, 1972; Sudsuki, 1969; Sudsuki y Botti, 1972; Slatyer, 1956; Meidner, 1954; Stone, Went y Young, 1950).

La magnitud del aporte de agua gaseosa desde la atmósfera, además de las características macro y mesoclimáticas está regulada por la arquitectura del ecosistema. En este proceso de captación hídrica desde el follaje, flores o tallos las características de la fitocenosis regulan directamente el proceso, determinando su capacidad de captación. Destacan por su importancia la superficie de condensación foliar el área de concentración de moléculas y gotas de agua de la atmósfera, la temperatura del aire y del follaje y la gradiente de potencial hídrico. Las características microclimáticas inducidas por la biocenosis, además de la regulación térmica y eólica del habitat, son fundamentales en el cálculo de la incidencia de la arquitectura en el proceso de aporte natural de agua gaseosa desde la atmósfera.

El aporte de agua proveniente del escurrimiento superficial o profundo desde sistemas ubicados a mayores altitudes, es una de las fuentes hídricas más importantes, en terrenos de lomaje o planos ubicados bajo sistemas de mayor elevación. La arquitectura del sistema no afecta a la magnitud ni a la distribución de este aporte, ya que el agua recibida en las localidades inferiores, está regulada por la arquitectura y funcionamiento de otros sistemas

ubicados en posiciones superiores en el relieve, pero no por el sistema que la recibe.

El aporte externo puede tener como orígen directo la acción antropógenica a tráves del riego, el cual puede ser en forma de escurrimiento superficial o profundo, elevación de la napa de agua ó por aspersión. La regulación del aporte hídrico en forma de riego no es afectado por las características arquitectónicas del sistema.

El pool de aportes hídricos es la resultante de la adición de las disponibilidades provenientes de cuatro orígenes diferentes: precipitación, agua gaseosa de la atmósfera, escurrimiento superficial y profundo y riego.

Además de los aportes externos al sistema, el cálculo del funcionamiento incluye también los aportes propios. Uno de estos aportes es la diferencia del contenido hídrico del sistema suelo-planta, que como se indica en lafigura puede ser positivo o negativo, ya sea que se trate de una disminución del contenido hídrico original o de un aumento de éste. El agua empleada en rellenar el contenido hídrico del sistema del suelo proviene de los aportes externos. La diferencia en el contenido hídrico está regulada por la arquitecturay funcionamiento del ecosistema. La capacidad de almacenamiento de agua aprovechable en los diversos suelos y regímenes, es muy variable (Penman, 1970). La importancia del agua en la regulación del crecimiento vegetal, especialmente en zonas con estaciones o períodos prolongados de sequía, se debe a que es uno de los mecanismos reguladores del crecimiento vegetal más importantes. El resto de los aportes internos proviene de la recirculación del líquido contenido en los tejidos de los organismos, en la orina, en las haces fecales y en otras fuentes de menor importancia.

Sólo una fracción del agua externa aportado al sistema puede ingresaral pool de agua ingerida; el resto se pierde sin incorporarse al sistema. El primer mecanismo que afecta las pérdidas hídricas del sistema es la evaporación de una parte del agua interceptada por la vegetación, la cual se produce directamente desde la cubierta vegetal, sin que alcance a tocar el suelo o a incorporarse al sistema (Zinke, 1967; Thorud, 1967; Patrick, 1966; Monninger, 1951; Goodell, 1963; Johnston, 1971).

La arquitectura fitocenósica y algunas características del habitat tales como temperatura, humedad relativa del aire, movimiento de masas de aire, dominancia vegetal, forma y posición del follaje, características de la cutícula, intensidad de la precipitación y otros parámetros regulan las pérdidas por evaporación del agua interceptada. En cada caso debe calcularse, aunque frecuentemente no constituyen una alta proporción de las perdidas del agua aportada. De los aportes líquidos que alcanzan la superficie edáfica una parte no logra incorporarse al sistema y se pierden como escurrimiento superficial. El remanente constituye el pool de agua ingerida. Las pérdidas por escurrimiento están reguladas por otros factores del sistema. La literatura menciona entre los más importantes a: la pendiente del terreno, cubierta vegetal, capacidad de infiltración del suelo, permeabilidad, intensidad de aportes hídricos externos, contenido de humedad del suelo y otras características ecosistemáticas definidas por la arquitectura.

El pool de agua ingerida resulta de la adición del agua externa aportada, más el agua propia del sistema. Una parte del agua ingerida se pierdeluego por escurrimiento superficial o profundo y va a complementar la cosecha de agua líquida del sistema. No toda el agua de escurrimiento, llega a ser cosechada, pues una fracción de ésta se pierde directamente por evaporación.

Una parte del agua ingerida sale fuera del sistema como agua líquida y se aleja de los cauces que van directamente a la planta para ser usada en el proceso de transpiración o bien como un componente del tejido vegetal. La proporción de agua perdida en este proceso está regulada por las características arquitectónicas del diseño. Del remanente de agua ingerida, una parte se pierde por evaporación y otra por transpiración, estando ambas proporciones también reguladas por la arquitectura ecosistemática. El concepto de evapotranspiración potencial es de gran valor en la investigación y manejo del recurso hídrico en el ecosistema (Penman. 1970).

Las pérdidas de agua gaseosa se han dividido en evaporación y transpiración. La razón de esta división es cuantificar las pérdidas hídricas por evaporación, que supuestamente no tienen incidencia directa posterior en el proceso funcional de productividad primaria. La cantidad de agua perdida en el proceso de transpiración está en cambio directamente relacionada con la productividad de la fitocenosis.

Las variaciones en la tasa de transpiración de las diversas especies vegetales es muy baja, siendo el clima el factor principal de regulación y es por esto que se puede decir que las necesidades hídricas de un cultivo están fijadas más que por el cultivo mismo, por el clima. Cuando no existen limitaciones hídricas, el crecimiento del cultivo es proporcional a la evapotranspiración potencial del período de crecimiento (Penman, 1970).

La energía fijada por el proceso de fotosíntesis y que soporta a todas las formas de vida es de origen solar, una parte de la cual se acumula en la biocenosis antes de ser rerradiada a la biosfera como calor (Woodwell, 1970). La totalidad de la vida terrestre está, por lo tanto, fuertemente afectada por las variaciones en las radiaciones solares recibidas (Oort, 1970).

El proceso energético del sistema se inicia con el aporte de energía luminosa proveniente del sol, una fracción de la cual, aproximadamente el 45%

corresponde a los rangos de longitudes de onda fotosintetizables. El remanente en su gran mayoría es energía térmica, además de otras longitudes, que en términos cuantitativos de aportes energéticos son de escasa significación (Figura 4).

El aporte de energía luminosa puede ser suplementado con aportes adicionales o importaciones de luz producida artificialmente con electricidad u otros medios. La descomposición de esta luz es también en longitudes capaces de incorporarse al proceso de fotosíntesis y en otras longitudes mayores o menores que no pueden incorporarse a los compuestos orgánicos que elabora la fitocenosis. Además, en sistemas heterotróficos, los aportes de materia orgánica elaborada en otros sistemas puede ser importante. El cauce que sigue esta energía es diferente a la del proceso de fotosintesis ya que no existe elaboración de productos orgánicos.

Aproximadamente un 30 % de la radiación solar se pierde por reflección (Penman, 1970), y del remanente, otra porción toca el sistema y se refleja en longitudes de onda no fotosintetizables, preferentemente en energía degradada o calórica. Una fracción de la energía luminosa es transmitida a través del follaje y pasa finalmente a perderse en forma de calor. Del remanente energético asimilado, parte de la energía se transforma en calor y luego se irradia quedando la energía utilizable en la productividad bruta, de la cual una parte se pierde en el proceso de respiración, al transformarse en calor, mientras el remanente se considera energía ecológica neta.

La cantidad de biomasa neta producida es aproximadamente equivalente al 1 % de la radiación solar recibida, aunque el valor es generalmente menor, fluctuando entre sólo 8 y 35 por 10,000, de acuerdo al grado de intensificación de la agricultura (Penman, 1970). La energía propia del

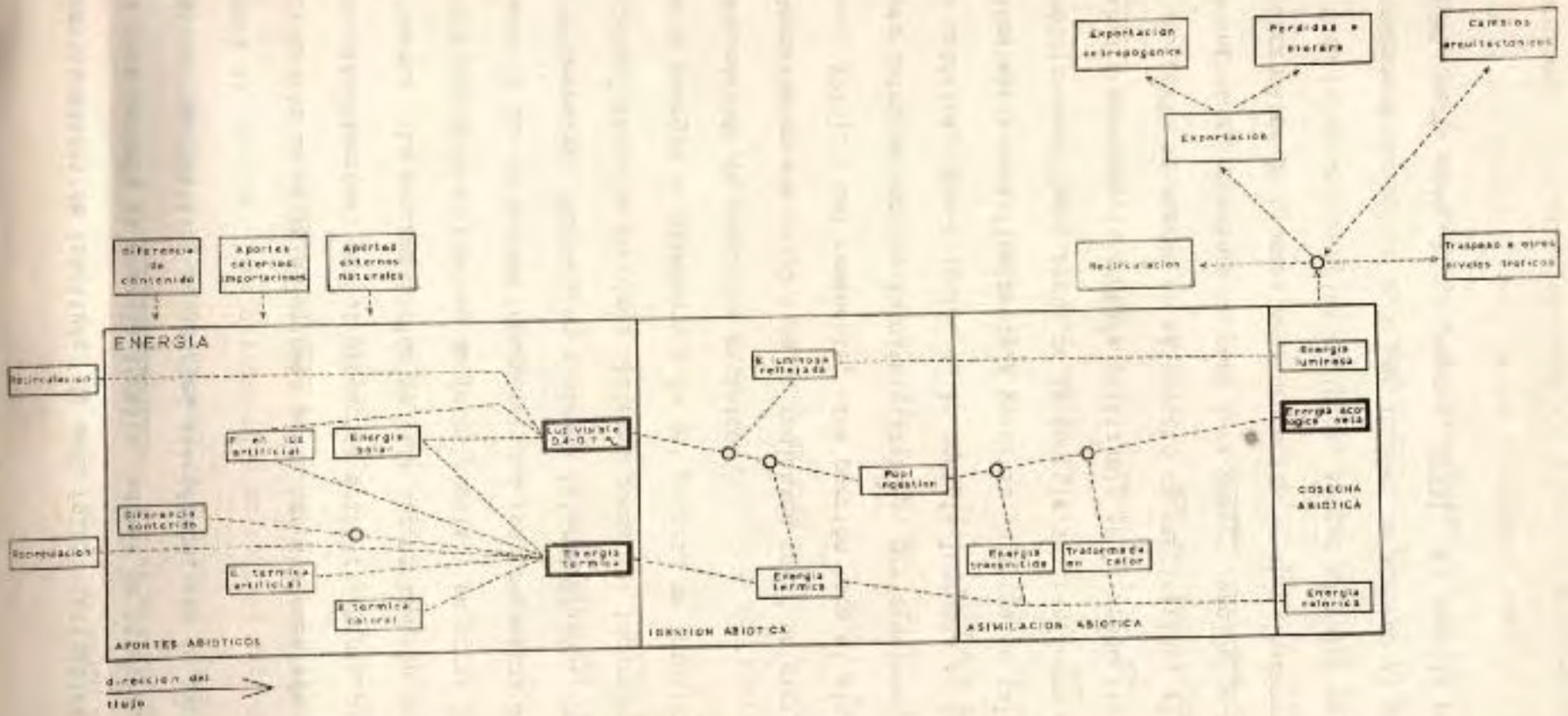


Figura 4. Aportes y pérdidas energéticas del sistema y modelo abiótico del flujo de la Energía.

sistema no tiene pérdidas por transmisión, ni por cambio de longitud de onda, como ocurre con la energía luminosa. En cambio, las pérdidas por respiración son análogas a las de la energía luminosa fotosintetizada previamente.

La productividad abiótica de energía se categoriza en energía luminosa, energía calórica y energía ecológica neta utilizable en el proceso de productividad primaria.

Se ha estimado que la energía fijada en la tierra al nivel del productor primario es de alrededor de 164 mil millones de toneladas metricas. De ésta, sólo el 5 por ciento está fijada en ecosistemas agrícolas y utilizada por el hombre, siendo la cantidad de combustible fósil extraído equivalente aproximadamente a la misma cantidad de energía (Woodwell, 1970).

En algunos lugares la proporción de energía fotosintetizada es muy baja debido a la falta de agua, pero en otros se debe a la ineficiencia de las prácticas culturales. La obtención de los beneficios máximos derivados del aporte limitado de agua se logra con arquitecturas silvoagropecuarias adecuadas, que incluyen entre otras, buenas variedades, buen manejo del suelo y del cultivo, sanidad vegetal y control de plagas (Penman, 1970).

El funcionamiento de la biocenosis requiere de la circulación o paso de nitrogeno, oxígeno, agua, anhidro carbónico, todos los cuales incluyen una fase gaseosa y tienen mecanismos autoreguladores. Cualquier aumento exagerado de uno se compensa automáticamente con la regulación del otro (Borman y Likens, 1967).

El nitrogeno es uno de los elementos nutritivos escenciales para el normal funcionamiento de la fitocenosis, el cual ha sido ampliamente estudiado (Delwiche, 1956; Stewart, 1966; y Bond, 1967; Sanfrany, 1974; y Greenwood et al. 1974)., se le ha considerado en una categoría diferentes del resto de los

elementos minerales por constituir un recurso sui generis (Figura 5). El aporte de nitrógeno a un sistema no deriva del material generador, sino que de la atmósfera, y su absorción o fijación por el vegetal o animal, al contrario de lo que ocurre con el carbono, hidrógeno y oxígeno, no es directa. Se requiere de procesos especiales de fijación, en los cuales el sistema debe alaborar una arquitectura ad hoc e invertir cantidades considerables de energía. La magnitud de sus requerimientos, unido a sus características ecológicas propias, similares en algunos aspectos a las del agua, hacen que corresponda ser tratado en forma aislada del resto de los nutrientes esenciales para los vegetales.

Los aportes externos de nitrógeno al sistema pueden categorizarse en dos: aquellos que ingresan al sistema luego de haber sido fijados en compuestos utilizables por la biocenosis y los aportes que deben ser fijados por el sistema mismo. Las aportes externos de fertilizantes nitrogenados están limitados por la magnitud de las importaciones. La recirculación del nitrógeno sintetizado puede constituir una fuente importante de aportes, especialmente en sistemas ganaderos. Las diferencias en el contenido de nitrógeno del suelo, pueden explicar el funcionamiento del sistema, cuando las variaciones entre el contenido inicial y final son muy elevadas. Los aportes de nitrógeno molecular atmosférico (N_2) son en la práctica ilimitados, ya que el contenido de nitrógeno del aire alcanza a 79 % y la mayoría de los sistemas silvoagropecuarios se desarrollan dentro de límites cercanos a este valor; sin embargo, frecuentemente éste es el elemento limitante, no porque el aporte de nitrógeno de aire sea insuficiente, sino porque la capacidad de fijación es muy baja; devolviéndose el resto a la atmosfera sin haberse incorporado al sistema. La capacidad de fijación biológica de nitrógeno está

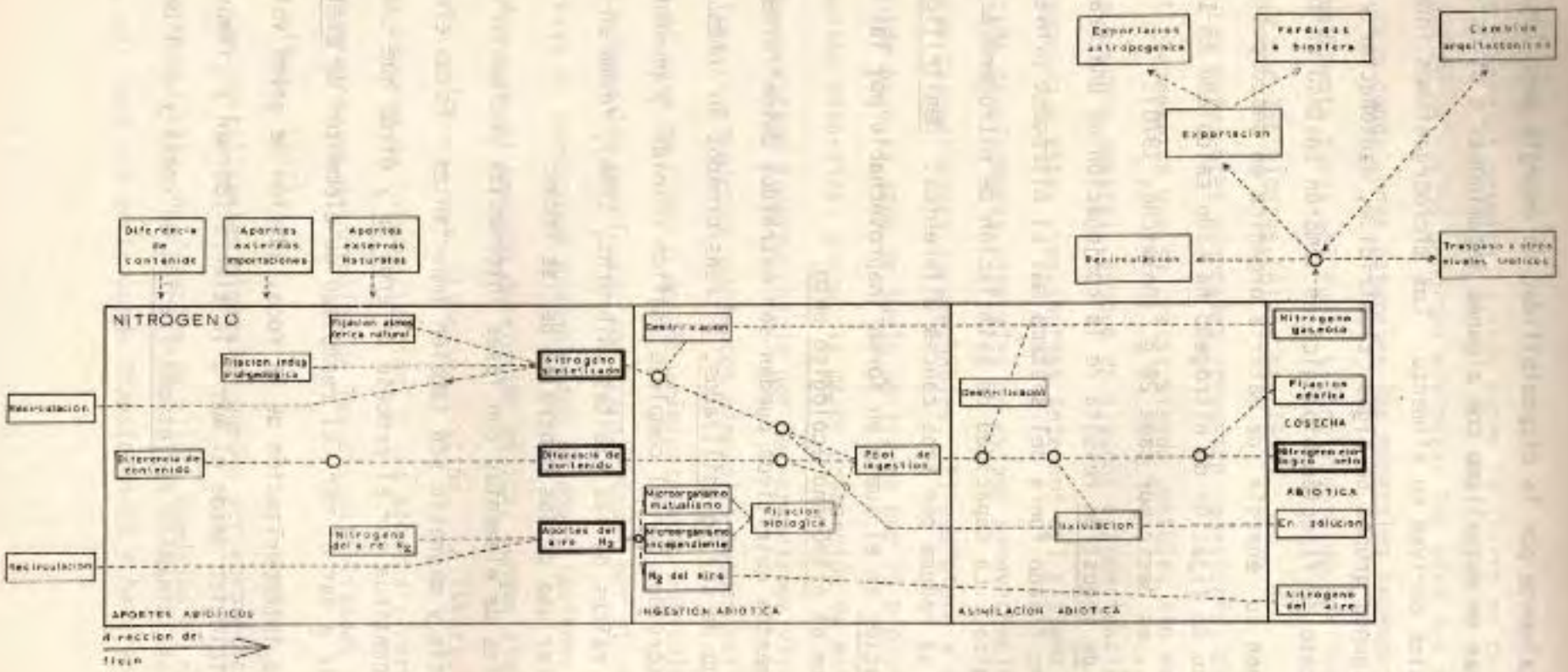


Figura 5. Aportes y pérdidas de nitrógeno al sistema y su modelo abiótico del flujo.

limitada fundamentalmente por la disponibilidad de energía para los microorganismosque operan en mutualismo con algunas leguminosas u otros grupos de plantas de las cuales derivan su alimento. Los microorganismos independientes, tales como algunos grupos de algas, clostridium, azotobacter y otros en los cuales el proceso de fijación biológica es también costoso en términos energéticos, obtienen su energía de materia orgánica en descomposición. El costo energético de fijación de nitrógeno ha sido calculado en 147 Calorías por mol de N_2, es decir por cada 28 g. (Delwiche, 1970).

El pool de ingestión resulta de la conjugación de una fracción del aporte de nitrógeno fijado fuera del sistema más el nitrógeno proveniente de la fijación biológica. La capacidad de asimilación de nitrógeno a partir del pool de ingestión se reduce por tres cauces diferentes: denitrificación, lixiviación y fijación en el suelo en forma inaprovechable por las plantas, siendo el remanente el nitrógeno ecológico neto.

Los elementos nutritivos pueden ser extraídos desde formas minerales estables para luego de ser solubilizados, y transformados en iones en solución que pueden ser absorvidos por el complejo edáfico coloidal y puedan ser intercambiados con las raíces de las plantas (Albrecht, 1956), forma en la cual el hombre puede hacer uso de los minerales de las rocas.

Los ciclos de elementos con fases intermedias sedimentarias, tales como fósforo, calcio y magnesio son también importantes. Estos elementos sufren una pérdida continua por el proceso de erosión y otros que trasladan los iones para luego ir a dar al mar. El reemplazo de elementos de ciclo sedimentario depende de la intemperización de la roca, adición de gases volcánicos, o del movimiento biológico desde el mar a la tierra (Borman y Likens, 1967).

El proceso dinámico de intemperización de rocas y de liberación de

nutrientes minerales permite la vida sobre la tierra en tanto que las prácticas de conservación de suelos permiten minimizar las pérdidas de los iones ya en solución. Bajo condiciones naturales, los minerales intemperazados no se pierden aceleradamente fuera del suelo siendo absorbidos por los microorganismos del suelo y por las plantas (Albrecht, 1956).

Los nutrientes minerales presentan características diferentes de acuerdo al elemento de que se trate; siendo posible, sin embargo, agruparlos en un sólo proceso general, aúnque en algunas circunstancias se comportan haciendo excepción a éste. Los aportes internos del sistema se originan en la recirculación de elementos minerales en estado aprovechable y en la diferencia de contenido de nutrientes aprovechables. El edafotopo y el material generador contenido bajo la capa de suelo utilizada por la biocenosis contiene también elementos minerales, aunque la mayor proporción de estos elementos se encuentran en estado inaprovechable por los organismos vivos. Algunas partículas sólidas, conteniendo nutrientes minerales pueden ser aportadas al sistema empleando el agua de riego o de escurrimiento como vehículo de transporte; en otros sistemas las partículas son transportadas por el viento. En el primer caso se trata de particulas provenientes de depositaciones originadas en erosión hídrica y en el segundo de erosión eólica, aunque algunas partículas tienen otros orígenes, especialmente polución. La liberación de minerales a través del proceso de intemperización, y los aportes y perdidas por erosión son las determinantes principales de las disponibilidades de estos recursos (Borman y Likens, 1967).

Los fertilizantes minerales pueden ser aprovechables directamente en su totalidad o sólo una fracción de ellos, quedando el remanente no aprovechable, del cual una parte puede transformarse y hacerse aprovechable.

Algunos de los nutrientes fijados biologicamente en el proceso de funcionamiento del sistema pueden posteriormente transformarse en elementos inaprovechables por la biocenosis; aunque eventualmente pueden ser reliverados.

La mayor proporción de los nutrientes minerales contenidos en el sistema en estado inaprovechable permanece como tal en cada etapa de funcionamiento del sistema ecológico. Una parte de éstos se pierde como erosión sin ser ingresados al sistema y el resto puede transformarse en elementos aprovechables, luego que la arquitectura del sistema ha ejercido su acción.

El aprovechamiento de los nutrientes minerales depende de la capacidad deasimilación del sistema; considerándose en su fase inicial la capacidad de liberación de la arquitectura ecosistémica. Algunos de los nutrientes liberados requieren ser fijados biológicamente y sólo aquellos liberados y fijados ingresan al pool de ingestión. Los nutrientes aprovechables aportados al sistema pueden ingresar directamente al pool de ingestión. Una parte de éstos, sin embargo, se pierde en forma gaseosa o en el proceso de lixiviación, fuera de otra parte del remanente que requiere ser fijada biológicamente (Figura 6).

Luego de ingresar al pool de ingestión, algunos nutrientes se pierden en forma de gases, solución o en partículas. Una fracción de los nutrientes originalmente libres se pierde al ser fijados en compuestos inaprovechables y el remanente constituye los nutrientes minerales ecológicos netos.

Los ciclos sedimentarios son menudo de más fácil alteración por el hombre que el ciclo del nitrógeno y del carbono. La alteración del sistema, al efectuar transformaciones arquitectónicas antropogénicas puede reducir los nutrientes minerales almacenados y restringir consecuentemente las disponibilidades de los elementos y reducir la productividad (Borman y Likens, 1967).

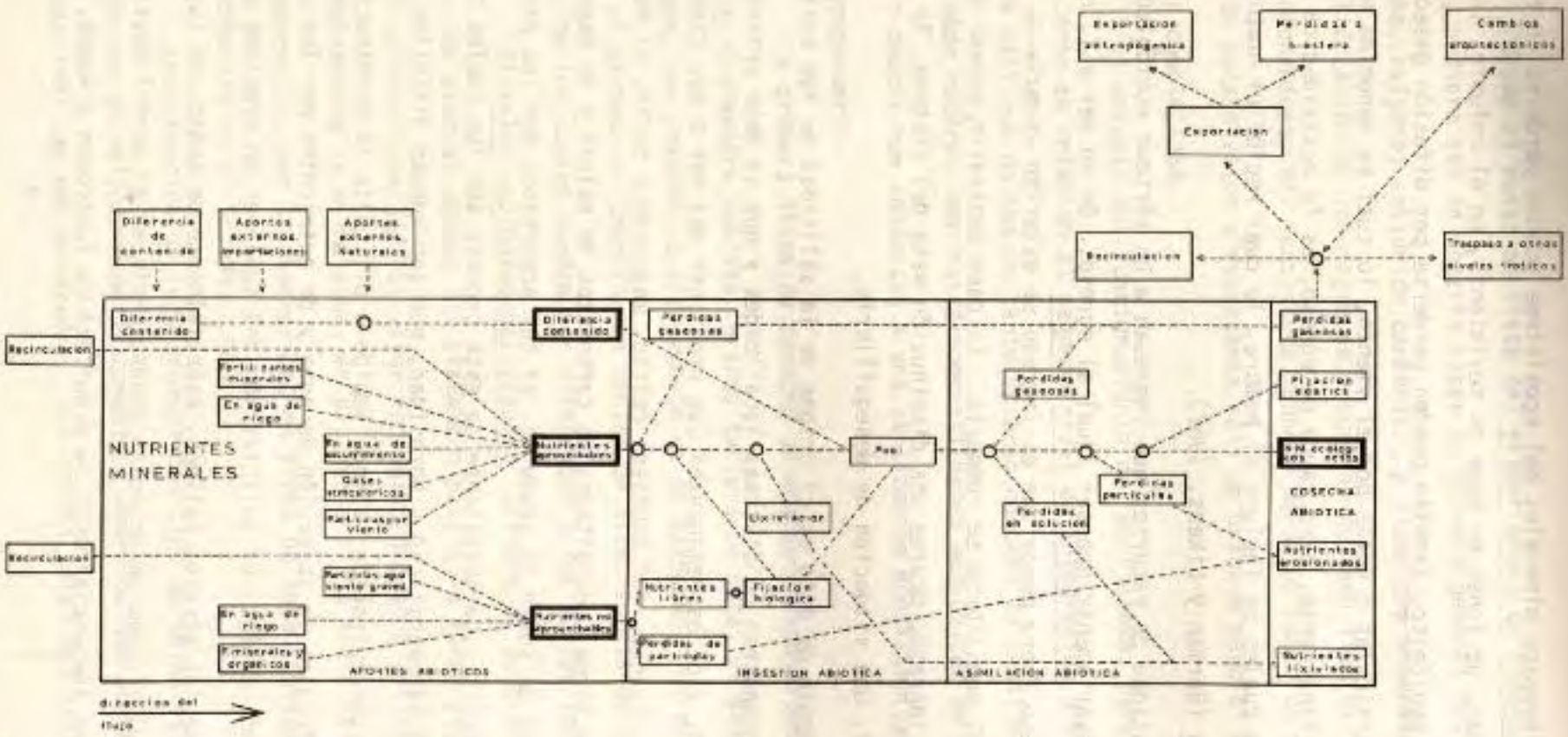


Figura 6. Aportes y pérdidas de nutrientes minerales al sistema y su modelo abiótico de flujo.

Los elementos minerales del ecosistema pueden perderse en forma de partículas sólidas, de iones en agua en movimiento, en el coluvio, lo cual se denomina egreso geológico; también pueden perderse por difusión gaseosa o transporte de partículas o gases por el viento, lo cual se denomina egreso meteorológico y finalmente, otro cauce de egreso, es la actividad de los animales, entre los cuales se incluye al hombre, lo cual recibe el nombre de egreso biológico (Borman y Likens, 1967).

La cantidad de recursos que ingresan a un sistema ecológico en equilibrio tiene necesariamente que ser igual al egreso. De no ser así, en el caso que el egreso fuera menor que el ingreso se estarían acumulando recursos y por lo tanto el equilibrio se rompería. En caso contrario, cuando el egreso es mayor que el ingreso, ocurre una disminución neta del sistema, lo cual también es en sí, una situación de desequilibrio.

Un ejemplo de esto es el origen de la salinidad de los suelos aluviales que se encuentran en diversas localidades y que se debe principalmente al agua de riego, y otros remanentes que provienen del mar o que tienen un origen eólico. El agua, que contiene calcio, magnesio y sodio, al evaporarse y ser transpirada forma precipitados de carbonatos de calcio y de magnesio, mientras los iones de sodio se acumulan, al ser absorbidos por las partículas coloidales de arcilla. La resultante de este proceso son los suelos defloculados, de baja permeabilidad y porosidad, que son además difíciles de trabajar. La alta concentración salina, impide o dificulta la germinación de la semilla y dificulta la absorción de agua y de nutrientes por las plantas (Jacobsen y Adams, 1958). La salinización del suelo es un problema de funcionamiento donde los egresos salinos, especialmente de sodio, en lugar de ser retirados del sistema se acumulan gradualmente en el perfil hasta que concluyen por alterar sustancialmente su arquitectura (Jacobsen y Adams, 1968).

Desde el punto de vista del primer nivel de integración, el de la materia, pudiera ser de interés hacer un balance general del agua, energía, nitrógeno, oxígeno, anhidrido carbónico, y elementos minerales en general. La cuantificación de los ingresos y egresos de cada item daría una idea general del funcionamiento del ecosistema, aunque desde un punto de vista ecológico eso es de escaso valor o representa sólo un enfoque parcial de un problema de mayor complejidad.

El estudio del funcionamiento del ecosistema, para que tenga valor, debe hacerse en relación al segundo nivel de integración o nivel de la naturaleza. De allí que no sea de tanto interés conocer la cantidad total de un determinado recurso como sus disponibilidades ecológicas en términos de productos o cauces que conduzcan a una utilización ecosistémica, especialmente silvoagropecuaria.

La primera etapa de cosecha de cualquier ecosistema es la cosecha abiótica. Cualquiera que sea la arquitectura de éste, ya sea que se trate de un bosque, una pradera, o simplemente de un barbecho, los recursos que ingresan al sistema se transforman dentro de éste, egresando por cauces diversos, algunos de los cuales pueden ser diferentes a los de los ingresos.

El valor ecológico del recurso difiere de acuerdo a su estado y conducto por el cual egresa del sistema o pase a la etapa siguiente de producción o transformación. El valor ecológico del agua del sistema, a pesar de ser químicamente la misma agua, es diferente si se trata del agua, que egresa por evaporación, por transpiración, en forma de agua líquida, o en forma del agua contenida en el tejido.

Una fracción de los recursos han sido denominados ecológicos netos, fracción que se refiere específicamente a aquellos que pueden ser utilizados en etapas tróficas más avanzadas. Del egreso total del sistema, es de especial

interés conocer además del agua ecológica neta, al nitrógeno, energía, nutrientes minerales, ahnidrido carbónico y oxígeno, todos ellos expresados en términos ecológicos netos.

El anhidrido carbónico y el oxígeno que ingresan al sistema sufren transformaciones menores y pueden ser utilizados directamente en su estado natural, encontrándose frecuentemente en cantidades elevadas; sin embargo, se pueden comportar como elementos limitantes. El oxígeno proviene del aire, donde constituye un 21 % del total y se origina en el proceso de fotosíntesis donde se libera por la descomposición de las moléculas de agua, empleando energía luminosa. El oxígeno libre no sólo soporta la vida aeróbica, sino que tiene su origen en ésta ya que el que existe en la atmósfera, es probablemente en su mayoría de origen biológico (Cloud y Gibor, 1970).

El ciclo del carbono no se discute en detalle en este trabajo, pero mayores antecedentes se presentan en los estudios de Bolin (1970), Ryther (1963), Lieth (1963), y Rabinowitch y Govindjee (1969). Lo mismo ocurre con el ciclo del oxígeno (Cloud y Gibor, 1970; Berkner y Marshall, 1965; Cloud, 1968;y Olsoq 1970).

El objetivo de la utilización del sistema es variable de acuerdo a la organización del hombre y a las circunstancias particulares de cada localidad. Es así como en algunos sistemas el interés primordial sea la producción de agua liquida para ser utilizada posteriormente en la producción de energía eléctrica o en el riego de otros ecosistemas. Cuando este es el caso, se trata de maximizar la cosecha de agua a través del funcionamiento y arquitectura del modelo. El agua perdida por evaporación, es en cambio, de poco interés silvoagropecuario, pero no ocurre así con el agua transpirada,

que aunque egresa del sistema y no es utilizable directamente, ejerce una acción reguladora de la productividad vegetal.

En sistemas cuyo objetivo es la producción vegetal, se trata de maximizar el agua ecológica neta, es decir la proporción de agua de transpiración, y la contenida en los tejidos, y minimizar las perdidas por evaporación y la cosecha de agua líquida. En manejo de cuencas hidrográficas se trata de maximizar la cosecha de agua líquida, a expensas de la evaporación, transpiración y agua del tejido.

La energía ingresada al sistema, es principalmente de naturaleza luminosa, acompañada de una fracción de ondas de otras longitudes. Además ingresa ocasionalmente energía contenida en compuestos orgánicos tales como frutos, vegetales y estiercol de corral que se utiliza como fertilizante o alimento. Una porción muy alta de esta energía empleada como energía ecológica se pierde en forma de luz reflejada y de energía calórica. La fracción empleada como energía ecológica neta fluctúa corrientemente en alrededor del 1 % del aporte. La fracción de la materia orgánica remanente al nivel de la cosecha abiótica puede ser utilizada posteriormente en la etapa del herbívoro o carnívoro.

En ecología silvoagropecuaria se trata de minimizar las perdidas de nitrógeno gaseoso, fijación edáfica, nitrógeno en solución y nitrógeno del aire, siendo el objetivo maximizar al nitrógeno ecológico neto, el cual es el disponible para la fitocenosis. Aún cuando el ingreso de nitrógeno pudiera ser muy elevado, y de hecho lo es, pues el contenido del aire es alto, la limitante principal a la producción de nitrógeno ecológico es la capacidad fijadora del sistema, capacidad que no puede ser aumentada en transformaciones arquitectónicas, más allá de ciertos límites.

Cuando las disponibilidades de nitrógeno ecológico neto constituyen una limitante al empleo optimizado de disponibilidades no limitantes de otros recursos ecológicos netos puede procederse a importarse nitrógeno fijado fuera del sistema. Con ello se logra elevar sustancialmente la canalización del nitrógeno a cauces utilizables por la fitocenosis.

Los nutrientes minerales también se pierden en forma de gases, lixiviados, erosión eolica e hídrica. Una fracción de los nutrientes puede ser fijados por el suelo y hacerse inaprovechable. En términos ecológicos corresponde a una reducción de las disponibilidades ecológicas netas de nutrientes. El anhidrido carbónico y agua son utilizados directamente como tales, y no necesitan de transformaciones o fijaciones en el sistema. Pueden constituir limitantes cuando la tasa de difusión o de movimiento de masas del gas está limitada por la biocenosis o el edafotopo, siendo el mecanismo limitativo principal a las disponibilidades de estos recursos el movimiento hasta alcanzar el tejido donde se les requiere. No son limitantes ni en cantidad ni por algún proceso de fijación o absorción. Es por ello que el mejoramiento edáfico del oxígeno ecológico neto, no se hace fertilizando la atmósfera con el gas, sino que con araduras, rastrajes, y otras prácticas arquitectónicas que mejoran el movimiento de los gases en el suelo. Estas prac-- ticas, además aumentan las pérdidas del anhidrido carbónico que se acumula en exceso en el suelo, junto a las raíces. Otras prácticas arquitectónicas contribuyen a mejorar la estructura y porosidad del suelo, con lo cual, además de lograrse un funcionamiento más adecuado del oxígeno y del anhidrido carbónico,se logra crear condiciones más favorables para otros nutrientes minerales.

La cosecha abiótica, puede seguir variados cauces de canalización (Figura 7). Se puede sin embargo, establecer cinco cauces principales de transferencia de la cosecha. Una parte considerable de la cosecha se exporta fuera del sistema. Esto no es necesariamente una perdida, considerada desde un punto de vista antropogénico, pues una parte considerable de las exportaciones puede canalizarse hacia el hombre y constituye las exportaciones antropogénicas. El resto sale fuera del sistema e ingresa como constituyente de los ciclos biogeoquímicos generales de la biosfera.

Otra parte de la cosecha, se acumula en el sistema cambiando su arquitectura. Este cauce de canalización arquitectónica es bidireccional, lo cual significa que puede ocasionar una mayor capitalización arquitectónica o bien un desgaste de la arquitectura, entregando recursos de exportación, recirculación o de utilización a otros niveles tróficos.

Las transferencias arquitectónicas de la cosecha son difíciles de evaluar cuantitativamente. Generalmente se confunden y se considera como productividad abiótica neta, recursos que sólo se están extrayendo del sistema. En la transformación de sistemas naturales en sistema de cultivos, una parte elevada de la cosecha abiótica es fruto del proceso residual de destrucción de la arquitectura original. La mayor productividad que se logra en los terrenos de cultivos de transformación reciente desde un bosque o pradera es fruto de la transformación de la arquitectura original. Los nutrientes minerales, intercambio gaseoso del suelo, infiltración hídrica y otras características del funcionamiento del sistema se originan en las propiedades arquitectónicas de estructura, porosidad, nutrientes disponibles y otras, que son consecuencia de su estado anterior.

La recirculación de recursos es fundamental en el normal funciona-

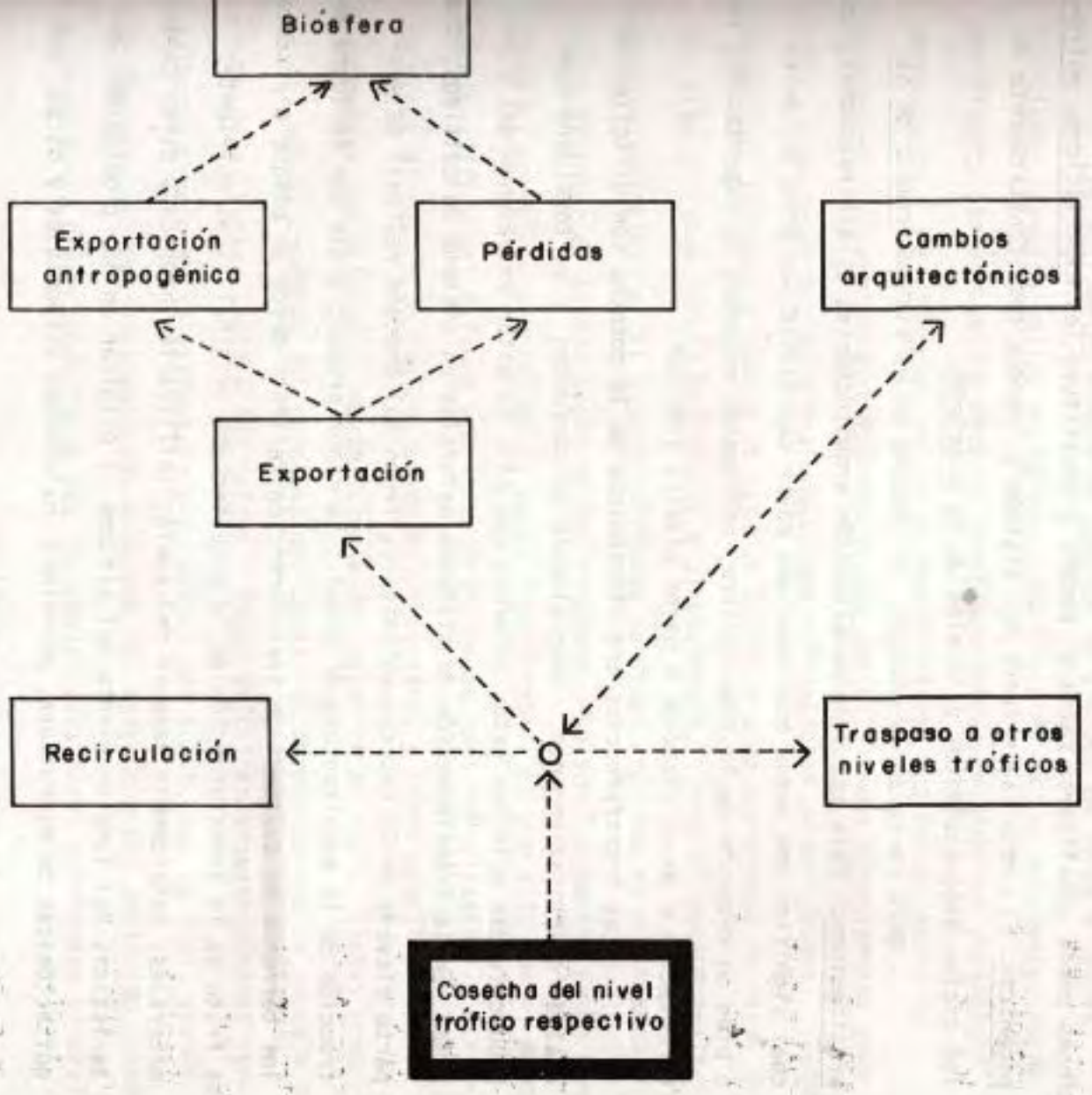


Figura 7. Esquema de los canales de extracción de la productividad abiótica.

miento del sistema. La proporción de recirculación de nutrientes minerales es muy elevada, pero no ocurre así con el agua y la energía, que casi su totalidad no recirculan, sino que pasan por el sistema. El nitrógeno en cambio, puede presentar una tasa de recirculación muy variada siendo la recirculación de O_2 y CO_2 de escasa significación. Cada recurso presenta grados de recirculación diferentes de acuerdo a la arquitectura y manejo del funcionamiento.

La utilización en niveles troficos mas avanzados depende de las disponibilidades ecológicas netas de los recursos y de sus proporciones. La mayor parte de la productividad abiótica ecológica neta es utilizable por el nivel trofico vegetal o del productor primario. Una fracción de éstos pueden ser utilizado directamente en etapas más avanzadas, tales como las del herbívoro o carnivoros; ejemplos de ello lo constituyen el agua utilizada para la bebida, cuando ésta se produce in situ y algunos minerales que el animal consume directamente del recurso abiótico sin pasar por el vegetal.

Productividad vegetal

La productividad primaria del ecosistema es la resultante del proceso general de funcionamiento de los recursos a través de su paso por la arquitectura fitocenósica. Para que ocurra productividad vegetal se requiere que existan aportes ecológicos netos y que éstos puedan ser empleados por la fitocenosis. Los aportes ecológicos netos no son otra cosa que la fracción de los recursos que puede ingresar directamente al proceso de transformaciones fisicas y bioquímicas internas de la fitocenosis.

Por tratarse de un estudio ecológico, no se pretende conocer ni analizar lo que ocurre a un organismo individual luego de recibir los aportes

externos. El objetivo, en cambio, es estudiar a la fitocenosis como una unidad funcional. Es por ello, que ha sido necesario recorrer un conjunto de etapas complejas y numerosas hasta llegar a definir el concepto de recursos ecológicos netos.

Los estudios fisiológicos no requieren de esta definición, por cuantosólo interesa conocer cuantitativa y cualitativamente el proceso interno defuncionamiento del vegetal. Los estudios ecológicos, en cambio utilizan los conocimientos fisiológicos existentes como una herramienta para explicar el proceso general de funcionamiento de la fitocenosis, para lo cual es necesario además, hacer uso de otras ciencias hasta lograr integrar los componentes del ecosistema en una sola unidad, integrada funcional y arquitectónicamente.

Tres de los recursos ecológicos netos aportados a la fitocenosis, el agua, la energía y el anhídrido carbónico se combinan para formar glucosa. El compuesto energético fundamental de la vida del planeta y funcionamiento del ecosistema es este carbohidrato no estructural, que incorpora en sus moleculas parte de la energía contenida los rayos solares, sin la cual el sistema ecológico deja de funcionar. En este proceso de formación del carbohidrato se elimina oxígeno como subproducto (Figura 8).

$$6\ H_2O + 6\ CO_2 + 673\ \text{Calorias} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

La combinación de glucosa con nutrientes minerales, oxígeno y nitrogeno, en diversas etapas del proceso bioquímico interno, concluye en la formación de compuestos orgánicos más complejos. Como resultante de este proceso se forma grasa, carbohidratos no estructurales, celulosa, lignina,

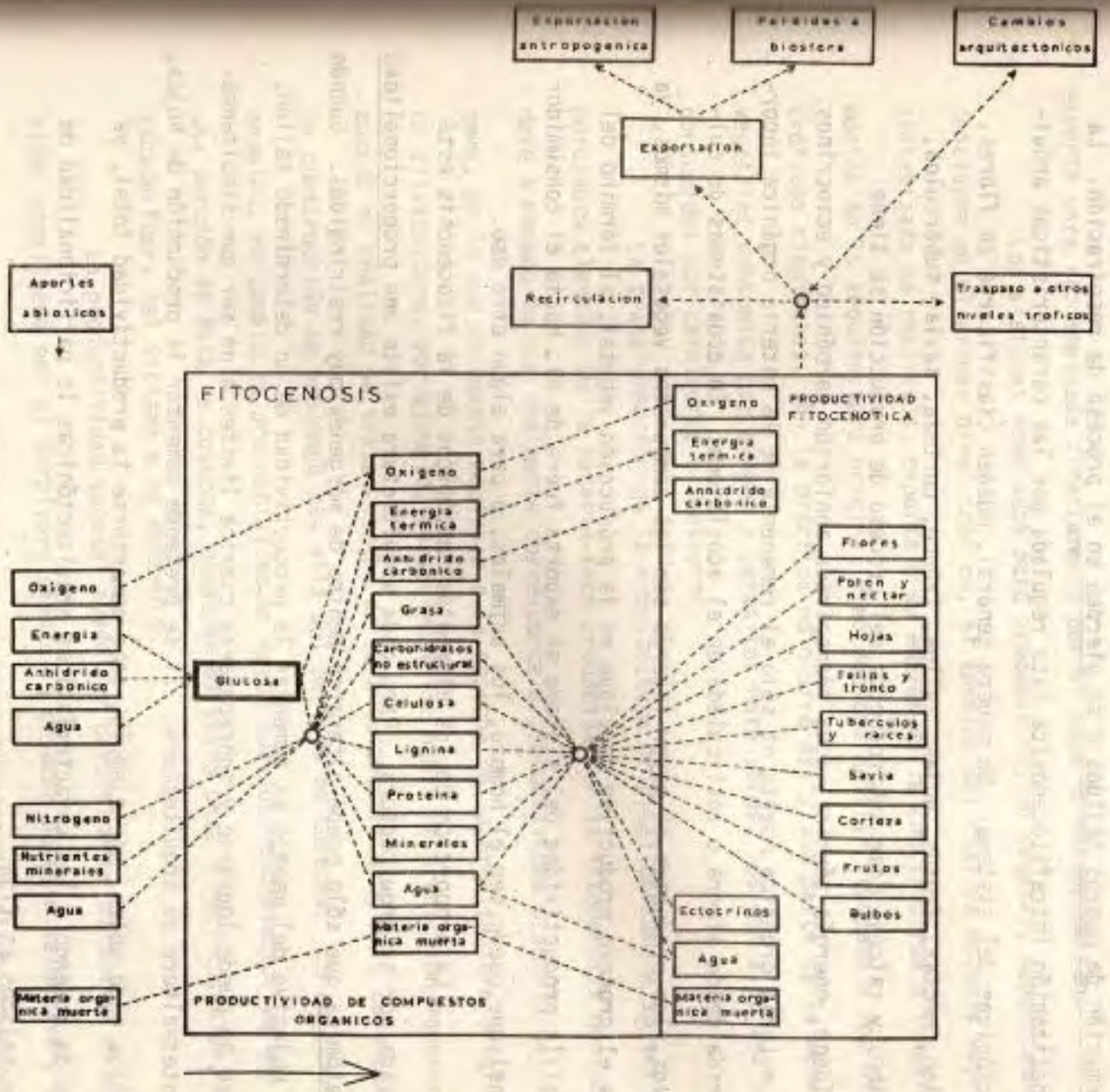


Figura 8. Aportes ecológicos netos a la fitocenosis fotosintetizadora y su transformación en los compuestos básicos del vegetal.

proteina, minerales, agua, anhídrido carbónico, oxígeno y energía térmica.

Los productos sintetizados por la planta se canalizan hacia los diversos tejidos de la fitocenosis donde son almacenados, o se emplean en la formación de nuevos tejidos o se pierden en el proceso de respiración. La canalización intrafitocenósica esta regulada por las características arquitectónicas del sistema. De manera general, pueden clasificarse en flores, polen, nectar, frutos, hojas, tallos, tronco, corteza, savia, tubérculos, bulbos y raíces. Como subproductos del proceso de producción se tiene: oxígeno, energía térmica, agua transpirada, anhídrido carbónico y ectocrinos. La materia orgánica muerta es sólo el remanente de la materia orgánica incorporada desde afuera o recirculada en el ecosistema. En ecosistemas de cultivos, los productos de mayor interés son los compuestos vegetales mismos, ya que el proceso productivo concluye en la producción vegetal; al término del cual la productividad del sistema se exporta fuera de él, hacia el consumidor final que puede ser el hombre, los animales, o para algún otro uso.

La proporción de los elementos anatómicos de la fitocenosis está fijada por su arquitectura. Para cada arquitectura existe una proporcionalidad anatómica que sólo puede alterarse dentro de márgenes muy restringidos. Cuando el objetivo del manejo es aumentar la productividad de un determinado tejido, esto no puede lograrse y sobrepasarse ciertos límites a no ser que simultaneamentesealtere su arquitectura. Si se pretende aumentar la producción de hojas, tallos o de polen, por ejemplo, debe aumentarse la productividad total, ya que de acuerdo a las características arquitectónicas la particionalidad de los tejidos es fija.

La producción vegetal es especializada en algún tió de tejido; así, algunos ecosistemas se modelan para producir frutos y semillas, otros para

producir hojas y otros para producir raíces o tubérculos. También, algunos se modelan para producir polen para alimentar abejas, o incluso para producir flores. Es anormal, modelar sistemas cuya productividad primaria total se exporte para ser empleada directamente por el usuario antropogénico.

Los sistemas modelados para producir tejido vegetal, supuestamente concluyen en el primer nivel trófico, al término del cual la materia vegetal sintetizada se recircula, exporta o se emplea en la construcción o transformación de la arquitectura original y no debiera existir traspaso a los niveles tróficos siguientes. En la práctica no ocurre así y una parte de la materia vegetales consumida por plagas y parásitos herbivoros, los que a su vez son consumidos por carnivoros u omnívoros.

La transformación de la arquitectura original consume a su vez proporciones elevadas de la materia seca producida por la fitocenosis confundiendose a menudo lo que realmente corresponde a productividad primaria del sistema, de lo que solamente equivale a la cosecha de la arquitectura original. En silvicultura, por ejemplo, generalmente se habla de producción maderera, cuando en realidad se trata cosecha de la arquitectura original, cuyo período de construcción se prolonga más allá del período de cosecha. En cultivos anuales, en cambio, la productividad es mayor que los rendimientos ya que sólo una porción de ésta se cosecha, mientras el resto pasa a recirculación, es sacado fuera del sistema o es destruído.

La productividad vegetal puede ser parcialmente consumida en el mismo ecosistema por el herbívoro siendo la cosecha de éste selectiva y parcial. Los diversos herbívoros se especializan en consumir algunos tejidos durante alguna parte del año; algunas especies consumen de preferencia pastos largos, tales como los vacunos, otros se han especializado en hierbas como

los ovinos, y otros en raíces y tubérculos como los cerdos, en tanto que otros prefieren el ramoneo, como los caprinos. Los pulgones y otros insectos, se han especializado en consumir la savia, las abejas el polen y nectar, mientras que los escolitos consumen el xilema.

La productividad vegetal no es normalmente consumida integralmente por el hombre, dejando un remanente que recircula o es utilizado por las especies herbívoras naturales, capaces de ocupar dichos nichos. Una proporción cada vez mayor de la energía fijada en la biosfera se canaliza hacia el hombre, reemplazandose proporcionalmente los modelos naturales de ecosistemas por sistemas silvoagropecuarios regulados antropogénicamente. Aún cuando frecuentemente la producción de elementos de canalización antropogénica ha mejorado en los sistemas intervenidos por el hombre, la eficiencia de producción puede haber variado en sentido inverso, entendiéndose como tal a la proporción entre el ingreso y egreso de recursos (Spedding, 1971).

Productividad del herbívoro

Laproducción primaria o vegetal esta formada por los distintos productos quede ella se obtienen: hojas, tallos, tuberculos, raíces y otros los cuales, para el propósito del herbívoro, se consideran como un total de materia seca y que corresponden al aporte propio del sistema. La materia seca puede dividirse en energía, proteina, elementos minerales, agua y substancias de crecimiento, tales como vitaminas y fitohormonas que pueden tener efecto en el animal como ocurre con los fitoestrogenos. Por otra parte, es posible tener ingresos externos, que pueden corresponder a suplementaciones de concentrados, heno, ensilaje u otros, que no habiendo sido producidos por

el sistema mismo pueden ser importados para una mayor eficiencia en la producción secundaria o bien para un mejor uso de la producción primaria o vegetal. Todo esto da el total de aportes de energía, nitrógeno, elementos minerales, substancias de crecimiento y agua, que se le ofrecen al animal independientemente que éste los use o no.

Todos los nutrientes, que son ofrecidos al animal no se usan por éste, como una máquina cosechadora, sino por el contrario el animal selecciona su consumo. Esta selección depende de la carga animal, la disponibilidad de forraje, suplementación, especie y tipo de animal (Arnold, 1966 y Cook, 1964) lo cual corresponde a la arquitectura. Es por ésto, que como se muestraen la figura 9, la capacidad de consumo es afectada por la zoocenosis, que en este caso corresponde a la arquitectura del sistema del flujo de nutrientes, que pueden variar substancialmente. A modo de ejemplo se puede decir que el flujo de nutrientes consumidos es totalmente diferente con una carga liviana de terneros, con la cual se ejerce una alta selección que con una carga alta de cerdos en donde, además de haber muy baja selección, los animales comen raíces y tubérculos. Es necesario destacar que aunque los flujos de nutrientes son diferentes en ambos ejemplos, la fisiología o funcionamiento del sistema, es la misma y sólo la arquitectura es diferente. La figura 9 muestra que una vez que la zoocenosis determina su consumo, éste puede dividirse en cuatro grandes subdivisiones: energía, proteína, otros nutrientes y agua. Dentro de la subdivisión de otros nutrientes se incluyen los minerales, vitaminas y otros que siendo de gran importancia para el animal, seincluyen en el mismo grupo sólo por razones prácticas del modelo, los cuales corresponden a los ingresos de la producción de herbívoros.

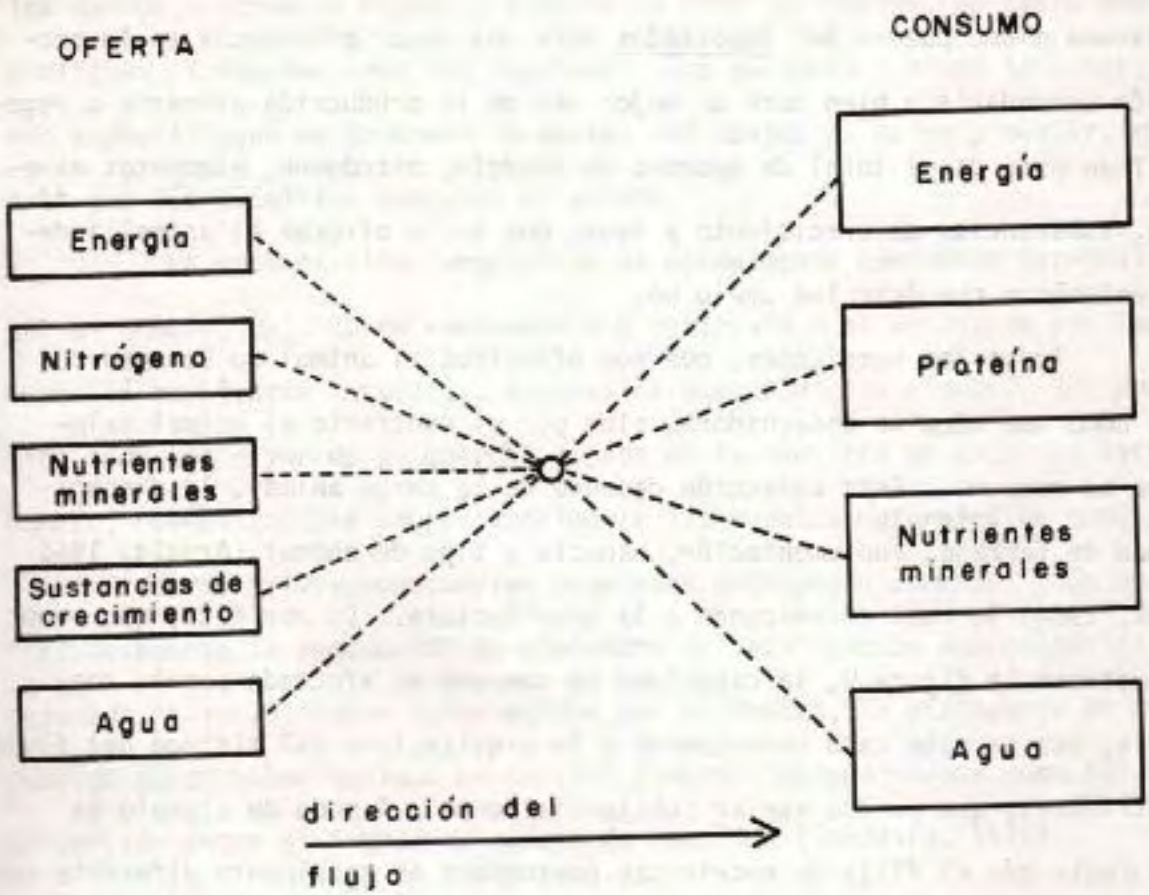


Figura 9. Alimento ofrecido e ingestión por el herbívoro.

Una vez que el herbívoro ha consumido el alimento se puede seguir un modelocomo el propuesto por Lucas (1968) que se muestra en la figura 10. Sin embargo, dado la gran diferencia que existe en la función fisiológica de los nutrientes es aconsejable seguir las cuatro grandes subdivisiones antes propuestas de energía, proteína, otros nutrientes y agua.

La capacidad de asimilación que corresponde a aquella parte que fué consumida y que se integra en el pool depende de la arquitectura zoocenósica y que es función de una serie de factores que pueden constituir en sí mismo otro modelo simulado. Al igual que anteriormente, se observa que cualquiera que sea la arquitectura de la zoocenosis el funcionamiento del sistema no cambia, alterandose solamente los flujos de nutrientes al pool. Si al consumo de energía, proteína y otros nutrientes se les resta su contenido en las heces fecales, se obtiene la digestibilidad aparente del factor. En el caso del agua, en estricto sentido, no se puede hablar de digestibilidad, sin embargo,en este modelo se le está considerando como tal. Los gases producidos en esta etapa son considerados para los efectos de este modelo como provenientes exclusivamente de la energía.

Todos los nutrientes que han sido asimilados, llegan al pool donde pueden ser utilizados para diferentes propósitos, incluso su regorno parcial, al aparato digestivo donde pueden ser reutilizados o eliminados en las heces fecales (Figura 11). Esta parte del pool corresponde a los jugos gástricos, tejido epitelial del intestino y otros que dependen cuantitativamente de la arquitectura del sistema. Es así como es diferente el nitrógeno fecal proveniente del pool de un bovino, cerdo o un hombre; como también es dependiente de la cantidad de materia seca consumida y de la cantidad de fibra del alimento, aunque se puede afirmar que ésto sólo afecta a los flujos (Schneider, 1935).

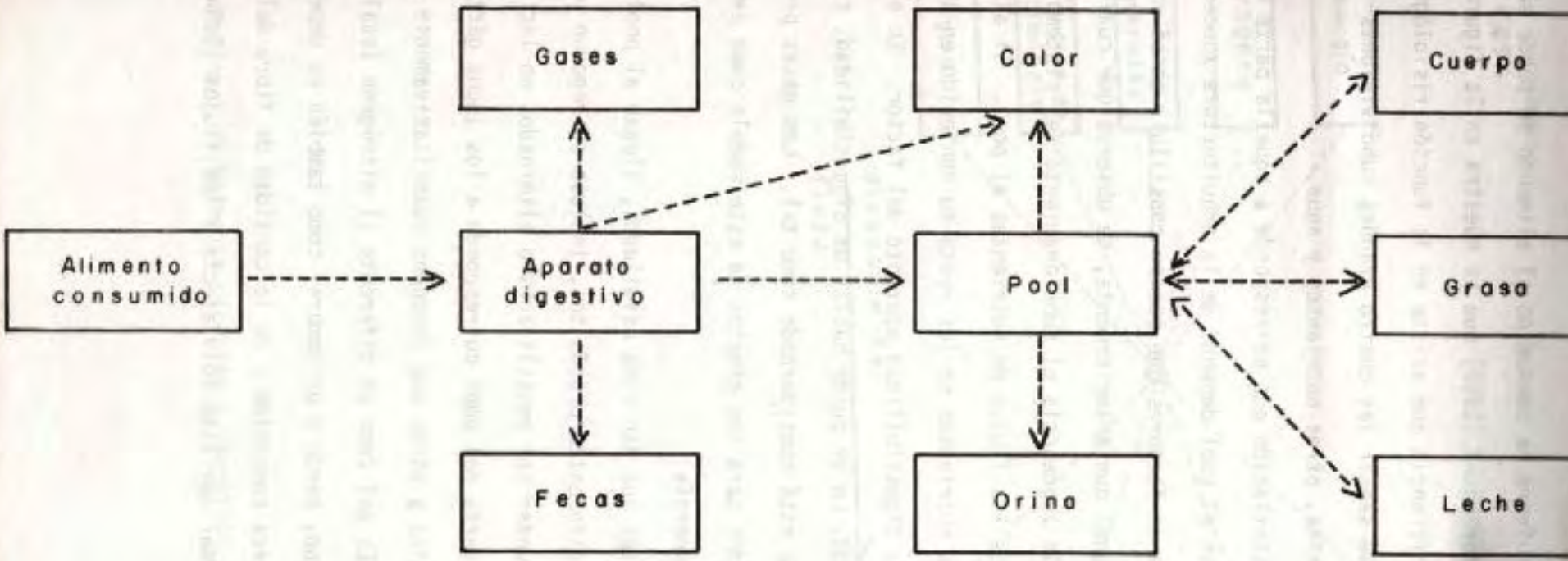


Figura 10. Modelo general de utilización de alimentos.

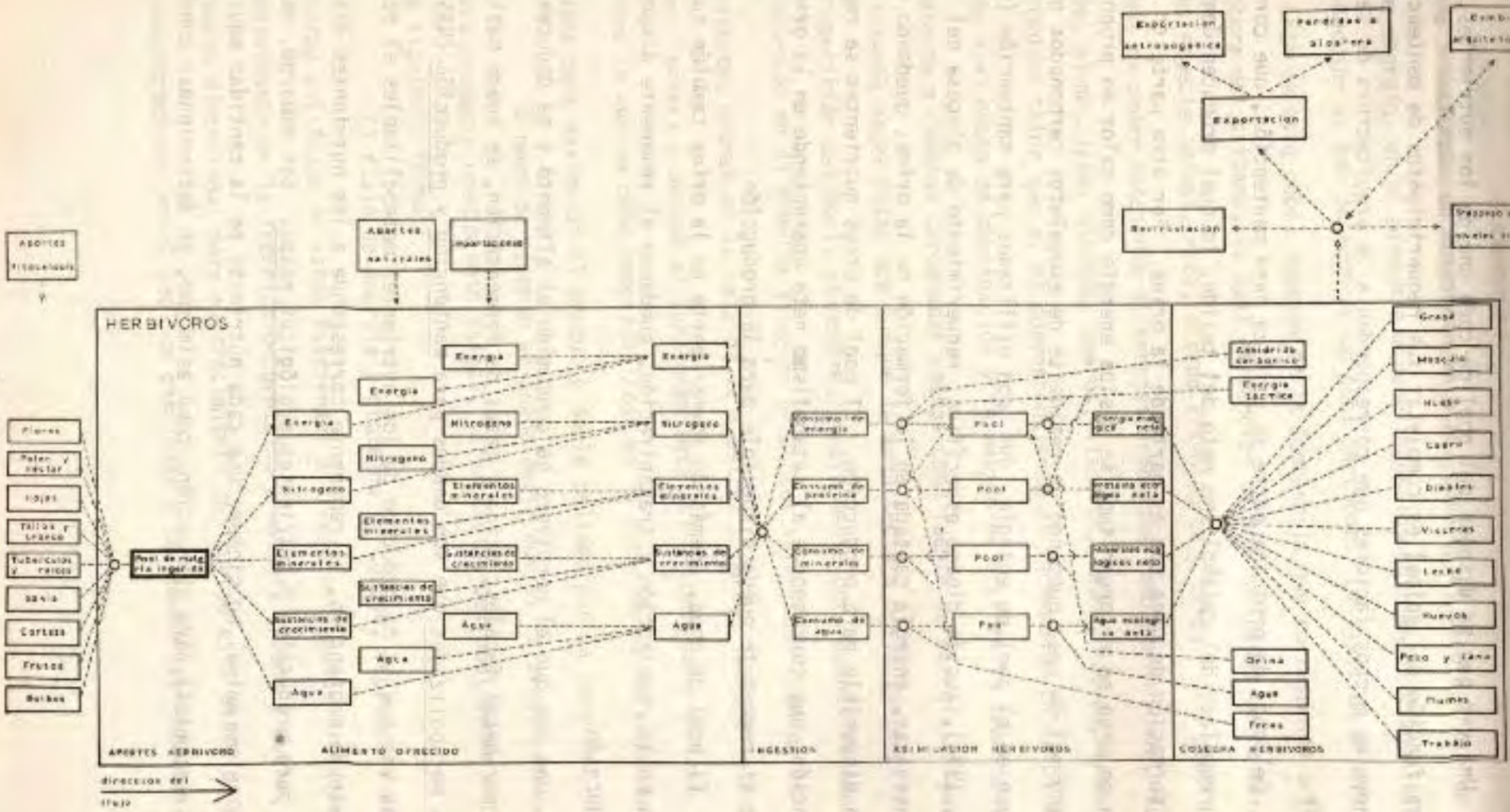


Figura 11. Modelo de flujo del herbívoro.

Una vez que se dispone del pool de cada uno de los nutrientes, la primera función del animal es completar sus requerimientos de mantención que dependen de muchos factores que corresponden a la arquitectura de la zoocenosis.

Del pool de proteina parte se utiliza para mantención, que corresponde al reemplazo del catabolismo neto del tejido, lo cual producen deaminación con formación de urea que es parte de la orina. Por otra parte en la formación de urea en el organismo, se disipa energía como calor en proporción de 4 ATP por mol de urea quedando un remanente de esqueletos carbonados que se incluyen en el pool de energía, que son utilizados para mantención (Cañas Cruchaga, 1974), acción dinamo específica, requerimiento de glucosa del sistema nervioso, energía gastada en la formación de la orina; quedando el remanente disponible para producción. El pool de otros nutrientes se reparte en mantención, que corresponde al catabolismo neto apareciendo en la orina en tanto que el remanente queda disponible para la producción.

El pool de agua, además de formar parte de la orina también aparece como agua en la respiración y transpiración, quedando el remanente disponible para producción.

Una vez que el herbívoro ha consumido el alimento y se deducen las pérdidas por heces fecales, orina y gases de fermentación, se puede hablar de nutrientes metabolizados que son usados para mantención y producción (NAS, 1966). Una vez que se ha deducido de los nutrientes metabolizables el requerimiento de mantención, el remanente corresponde a los nutrientes disponibles para producción o nutrientes ecológicos netos. Sin embargo, dado que el organismo animal no siempre usa cada nutriente en la cantidad equivalente al disponible para producción, como asímismo, en determinadas condiciones

puede transformar un nutriente en otro, como es el caso del uso de la proteína como energía, en el presente modelo todos los nutrientes disponibles para producción se han juntado en un pool partidor. La división o partición que se hace de este pool, depende de la zoocenosis que corresponde a la arquitectura del sistema, la cual es función de una infinidad de factores tales como especie animal, raza, estado fisiológico y otros. Del pool de partición, además de poder obtenerse diferentes productos como son músculo, hueso, grasa, pelo, pluma, lana, dientes, cueros, visceras, leche, huevos, trabajo, también se produce calor que es el correspondiente al incremento calórico de producción y al costo de deaminación y formación de urea en la transformación de proteína a cadenas carbonadas usadas como fuente de energía (Figura 12). Es de interés hacer notar que aunque la arquitectura de la zoocenosis determina la partición del pool, el hombre, generalmente por razones económicas está interesado en diferentes tipos de productos tales como dientes en la caza del elefante, plumas en la caza de la avestruz o ñandú, leche en el caso de la vaca lechera y aunque el funcionamiento del sistema para un caso u otro es el mismo lo que se debe compatibilizar es la elección de la arquitectura adecuada para maximizar el producto de la calidad por la cantidad.

A modo de ejemplo se puede decir que si la arquitectura elegida es para producir crecimiento animal, la partición del pool puede estimarse de la siguiente forma:

El flujo de energía y proteína al cuerpo, representa síntesis del cuerpo y el flujo de éstos nutrientes a crecimiento puede dividirse fundamentalmente en la fracción de proteína y energía (Koong y Lucas, 1974). La fuerza direccional para el crecimiento del cuerpo está definida por ambas concentraciones en el pool de partición y se pueden representar como PPP/C o

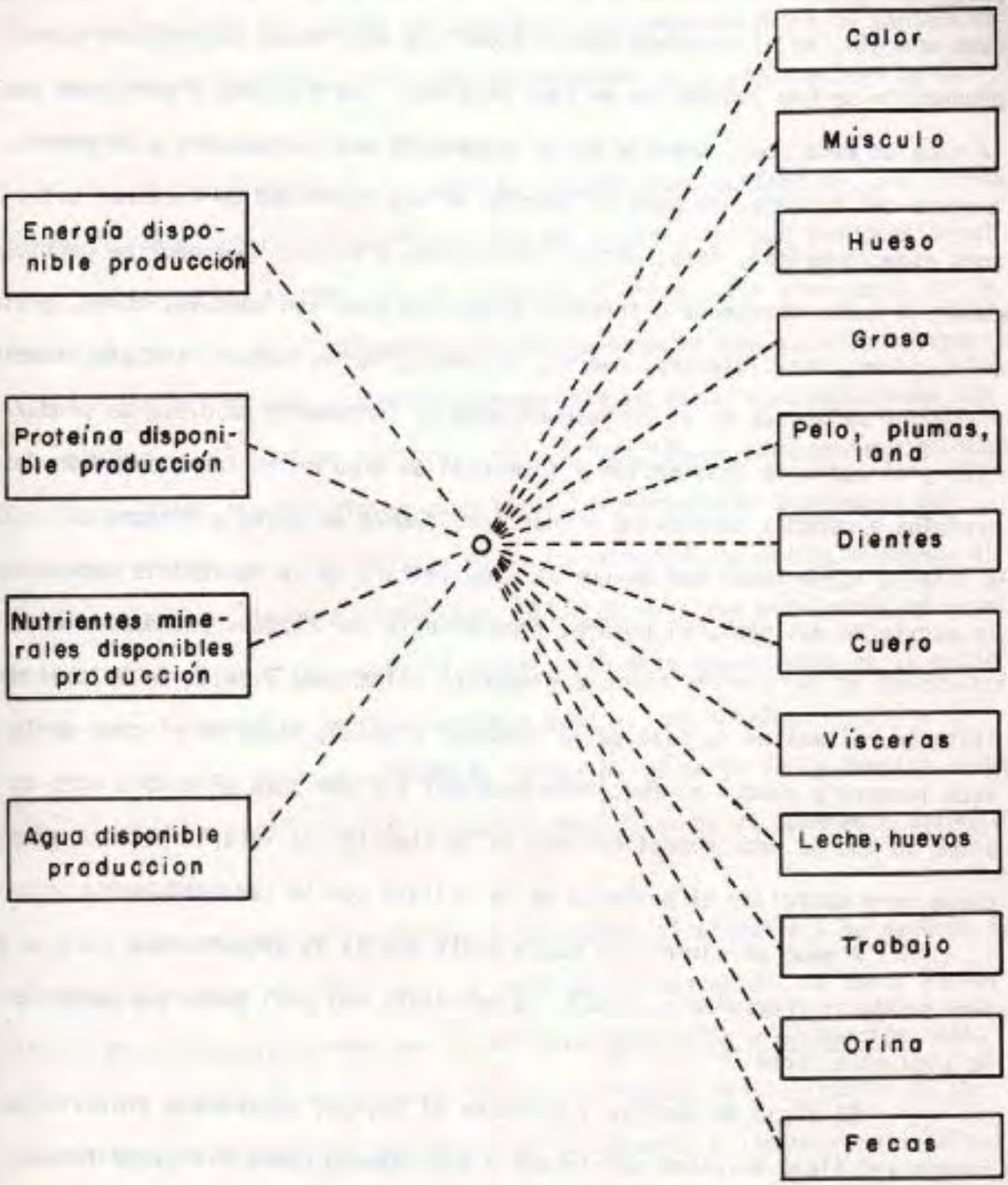


Figura 2. Utilización de los nutrientes disponibles por el animal.

o poolde partición de energía del cuerpo. Se debe recordar además, que la curva de crecimiento es sigmoidea como lo muestra la figura 13, y que se debe esto tomar en cuenta, ya que la magnitud de la fuerza de flujo o la dirección es la misma y es proporcional al remanente potencial de crecimiento (Brody, (1945). Se llama remanente potencial de crecimiento a la diferencia entre el tamaño máximo del animal ($\propto$) y su tamaño al momento del estudio (C), siendo K una constante.

$$\triangle \text{ Peso} = K \left(\frac{PPE * PPP}{C^2}\right) * (\propto - C) * C$$

la ecuación indica que cuando el peso del cuerpo (C) es pequeño el potencial de crecimiento es grande ($\propto - C$) y cuando (C) es grande el potencial es pequeño. La tasa de crecimiento:

$$\frac{PPE * PPP}{C^2}$$

y el factor ($\propto - C$), es menor a mayor peso del animal, produciéndose la curva logística de crecimiento. En forma semejante se puede estimar la velocidad de flujo para producción de leche conociendo la fórmula exponencial que describe su tasa de producción (Figura 14). Brody (1945) describió esta curva para vacas lecheras como:

$$X_M (t) = X_M (\lambda_M e^{-m_1 t} - e^{-m_2 t})$$

donde $X_M(t)$ = Rendimiento potencial de leche al tiempo t

X_M = Factor determinado por el potencial genético de los animales

λ_M, m_1, y m_2 = Factores debidos al estado fisiológico de la lactancia.

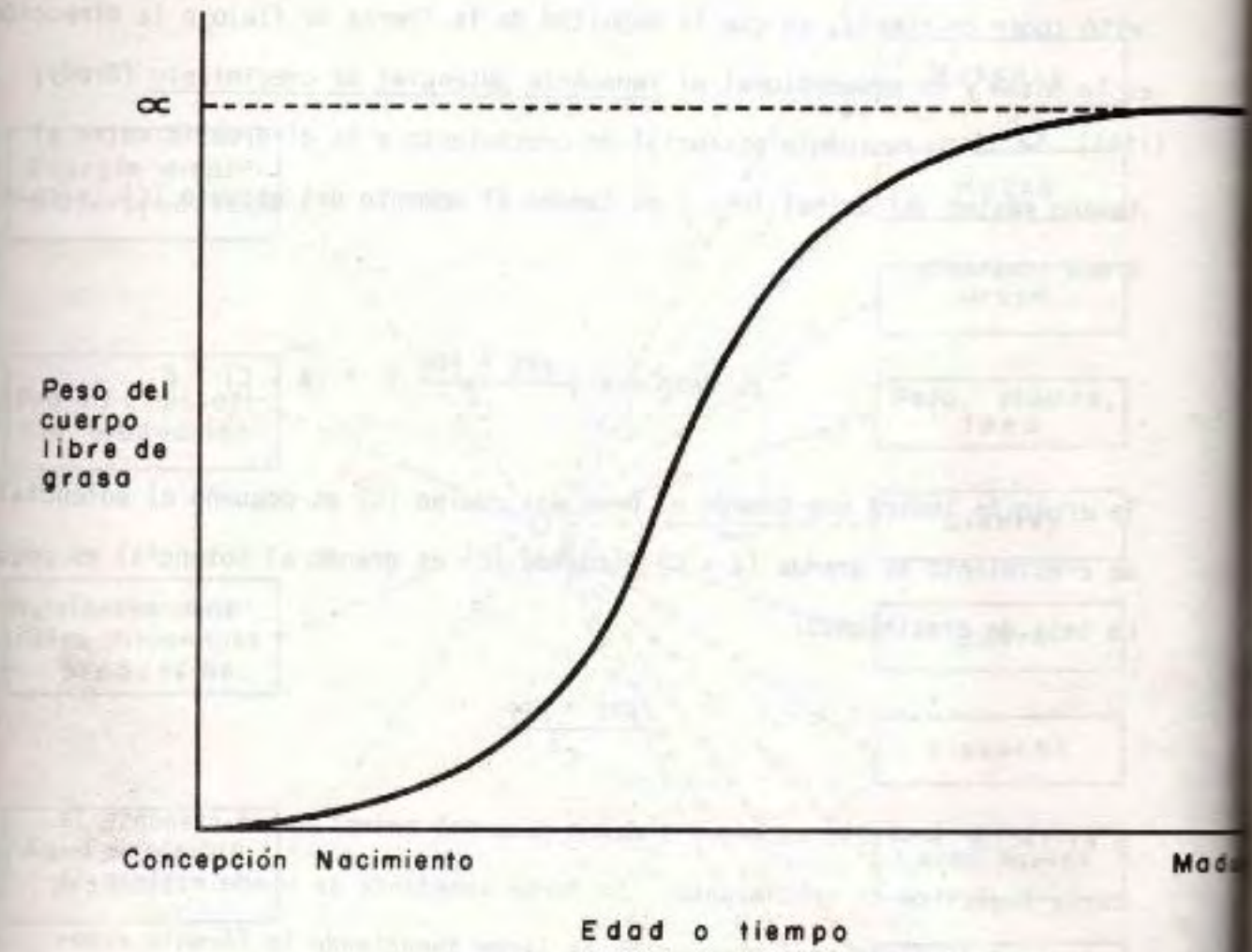


Figura 13. Curva de crecimiento y remanente potencial de crecimiento de un animal.

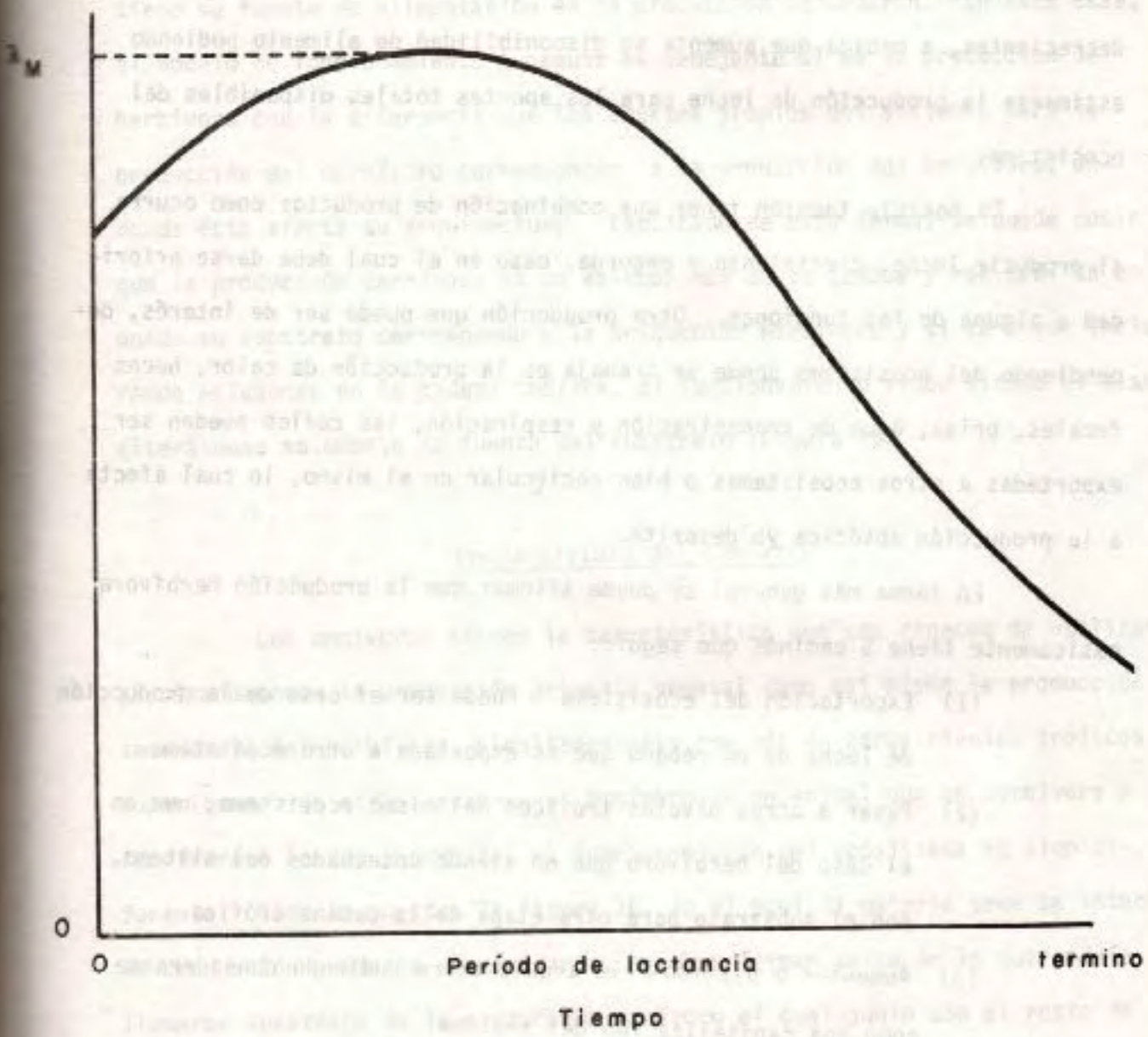


Figura 14. Curva de producción lechera.

Conociendo el período de lactancia de la vaca, y estimando por la fórmula anterior su máxima producción de leche y adaptando ese máximo a las disponibilidades de nutrientes que proporciona el ecosistema, se puede aplicar a estos aportes una ecuación polinomial como la propuesta por Reid (1956). En esta se indica que la producción de leche sigue la curva de los rendimientos decrecientes, a medida que aumenta su disponibilidad de alimento pudiendo estimarse la producción de leche para los aportes totales disponibles del ecosistema.

Es posible también tener una combinación de productos como ocurre al producir leche, crecimiento y engorda, caso en el cual debe darse prioridad a alguna de las funciones. Otra producción que puede ser de interés, dependiendo del ecosistema donde se trabaja es la producción de calor, heces fecales, orina, agua de transpiración y respiración, las cuales pueden ser exportadas a otros ecosistemas o bien recircular en el mismo, lo cual afecta a la producción abiótica ya descrita.

En forma más general se puede afirmar que la producción herbívora básicamente tiene 5 caminos que seguir:

(1) Exportación del ecosistema. Puede ser el caso de la producción de leche de un rebaño que es exportada a otro ecosistema.

(2) Pasar a otros niveles troficos del mismo ecosistema, que es el caso del herbívoro que no siendo cosechados del sistema, son el substrato para otra etapa de la cadena trófica

(3) Aumentar o disminuir la arquitectura pudiendo considerarse como una capitalización del sistema.

(4) Perderse a la biosfera, y

(5) Recirculación

Productividad del carnívoro

Si la producción del herbívoro se considera como producción secundaria del ecosistema, ya que la producción primaria es la vegetal; la producción del carnívoro puede considerarse como producción terciaria, ya que tiene su fuente de alimentación en la producción secundaria. En este caso, el modelo de funcionamiento a seguir es semejante al de la producción del herbívoro con la diferencia que los aportes propios del sistema, para la producción del carnívoro corresponden a la producción del herbívoro, en donde ésta afecta su arquitectura. Explicado de otra forma, se puede decir que la producción carnívora es un eslabon más de la cadena y red trófica en donde su substrato corresponde a la producción herbívora y si se sigue incluyendo eslabones en la cadena trófica, el funcionamiento sigue siendo el mismo, alterándose solamente la fuente del substrato (Figura 15).

Productividad del omnívoro

Los omnívoros tienen la característica que son capaces de utilizar simultaneamente la producción primaria vegetal como así mismo la producción secundaria del herbívoro, simultáneamente con los de otros niveles tróficos superiores. En otras palabras un omnívoro es un animal que es herbívoro y carnívoro a la vez y como tal el funcionamiento del ecosistema es algo diferente. Como lo muestra la figura 16, en el pool de materia seca se integra la producción primaria y secundaria, y ambos forman parte de lo que podría llamarse substrato de la producción omnívoro el cual junto con el resto de los aportes externos de recirculación y propios, forman el total de aportes ofrecidos al omnívoro para su consumo. Este consumo puede dividirse nuevamente en energía, proteína, otros nutrientes y agua, los cuales pasan al aparato

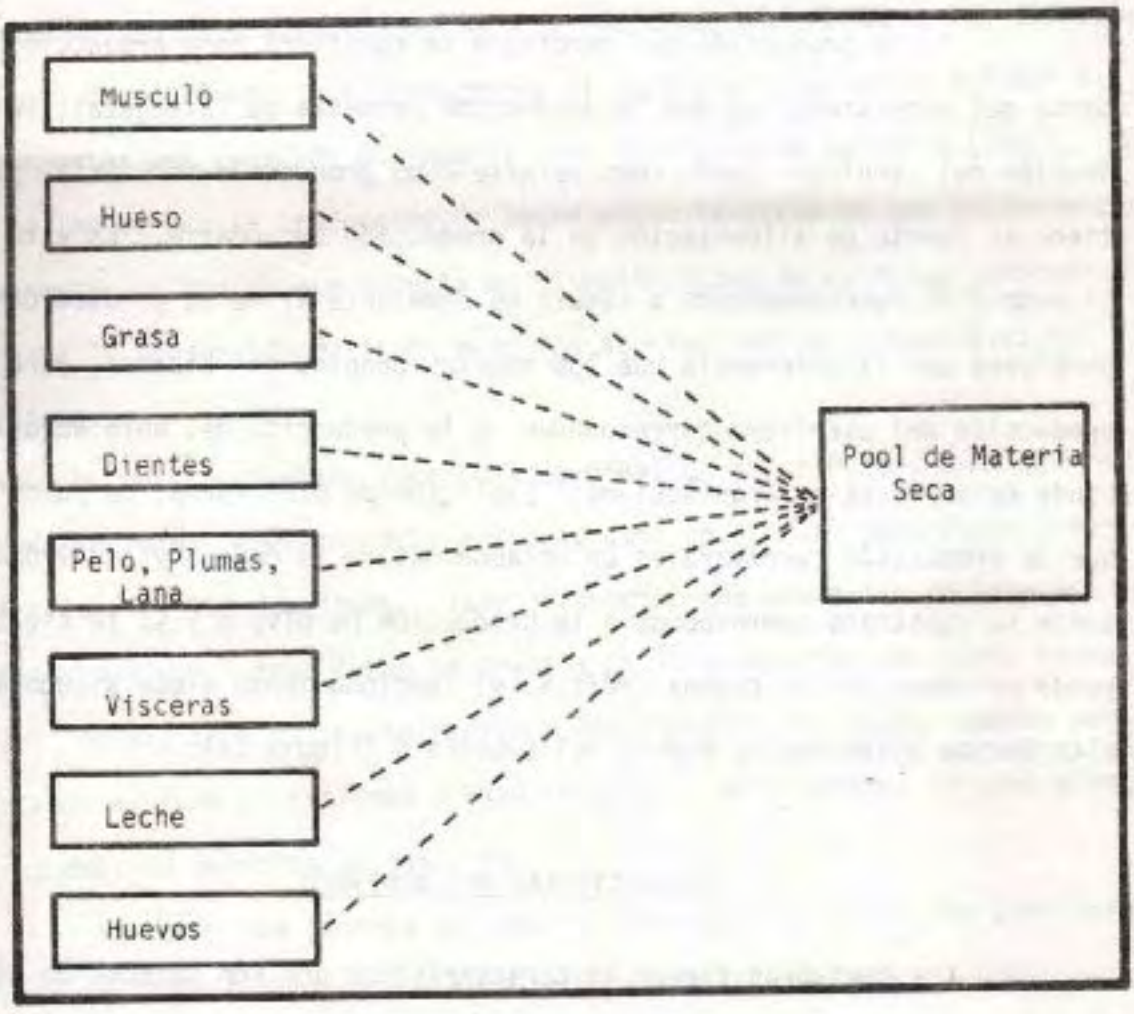


Figura 15. Integrantes del pool de materia seca en la producción carnívora.

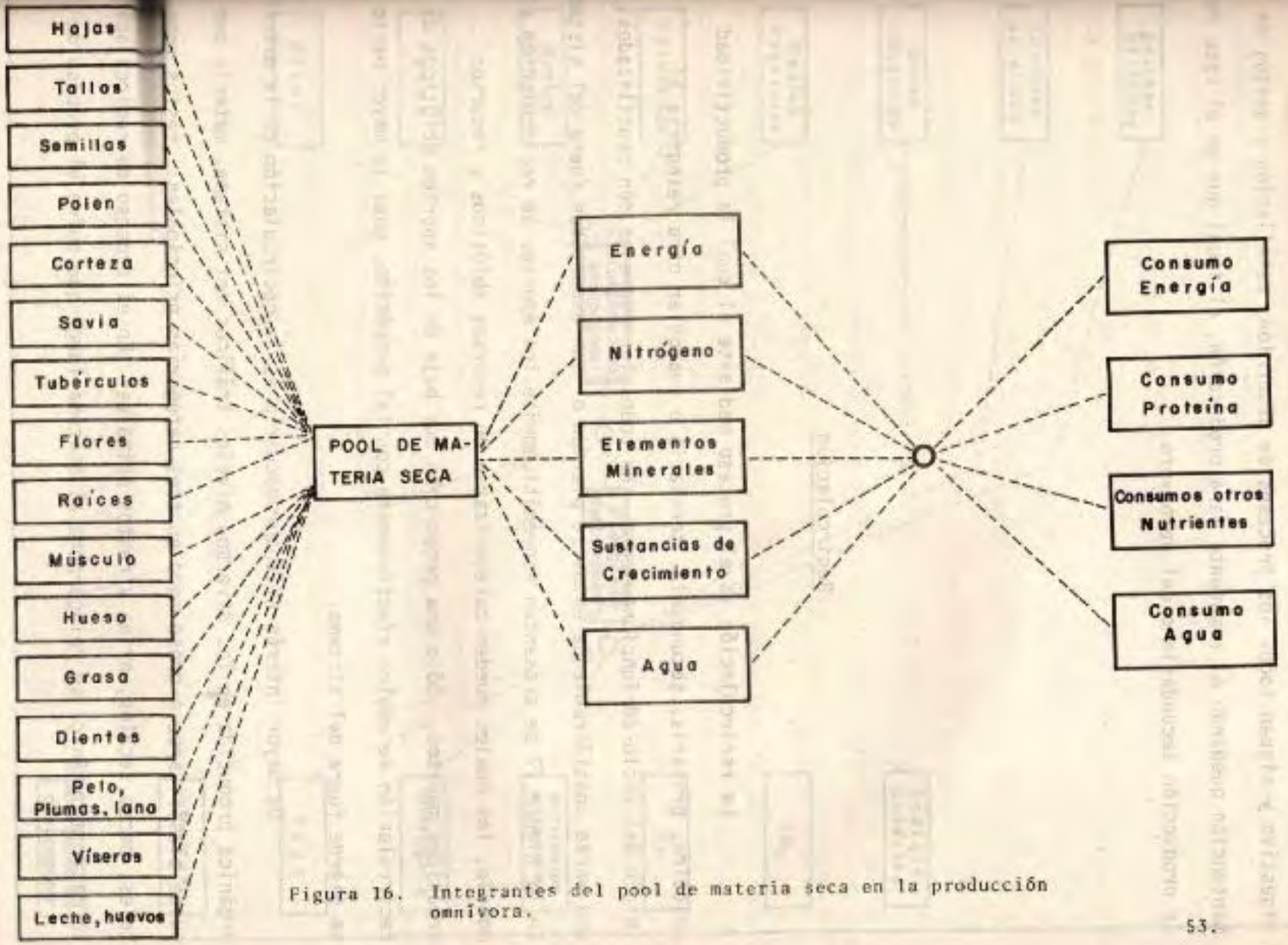


Figura 16. Integrantes del pool de materia seca en la producción omnívora.

digestivo y siguen todos los procesos de absorción, asimilación y gastos de mantención quedando el remanente para producción, al igual que en el caso de la producción secundaria o del herbívoro.

Recirculación

La recirculación es el proceso mediante el cual la productividad abiótica, primaria, secundaria, terciaria o cualquier otra reingresa al inicio del ciclo de funcionamiento. No todos los ingresos son reutilizados; una parte considerable de éstos se pierden o son exportados fuera del sistema. En la figura 17 se presentan esquemáticamente los aportes de recirculación al modelo, los cuales pueden categorizarse en recursos abióticos y recursos orgánicos muertos. Sólo una proporción muy baja de los aportes abióticos de recirculación se emplea efectivamente con tal propósito, pues la mayor parte se pierde fuera del sistema.

De mayor interés silvoagropecuario es la recirculación de la materia orgánica producida en los diversos niveles tróficos del sistema, materia que puede clasificarse a groso modo en tres categorías principales: restos vegetales, heces fecales, orina y restos animales. En el proceso de recirculación la materia orgánica se reincorpora al sistema luego que sufre el proceso de

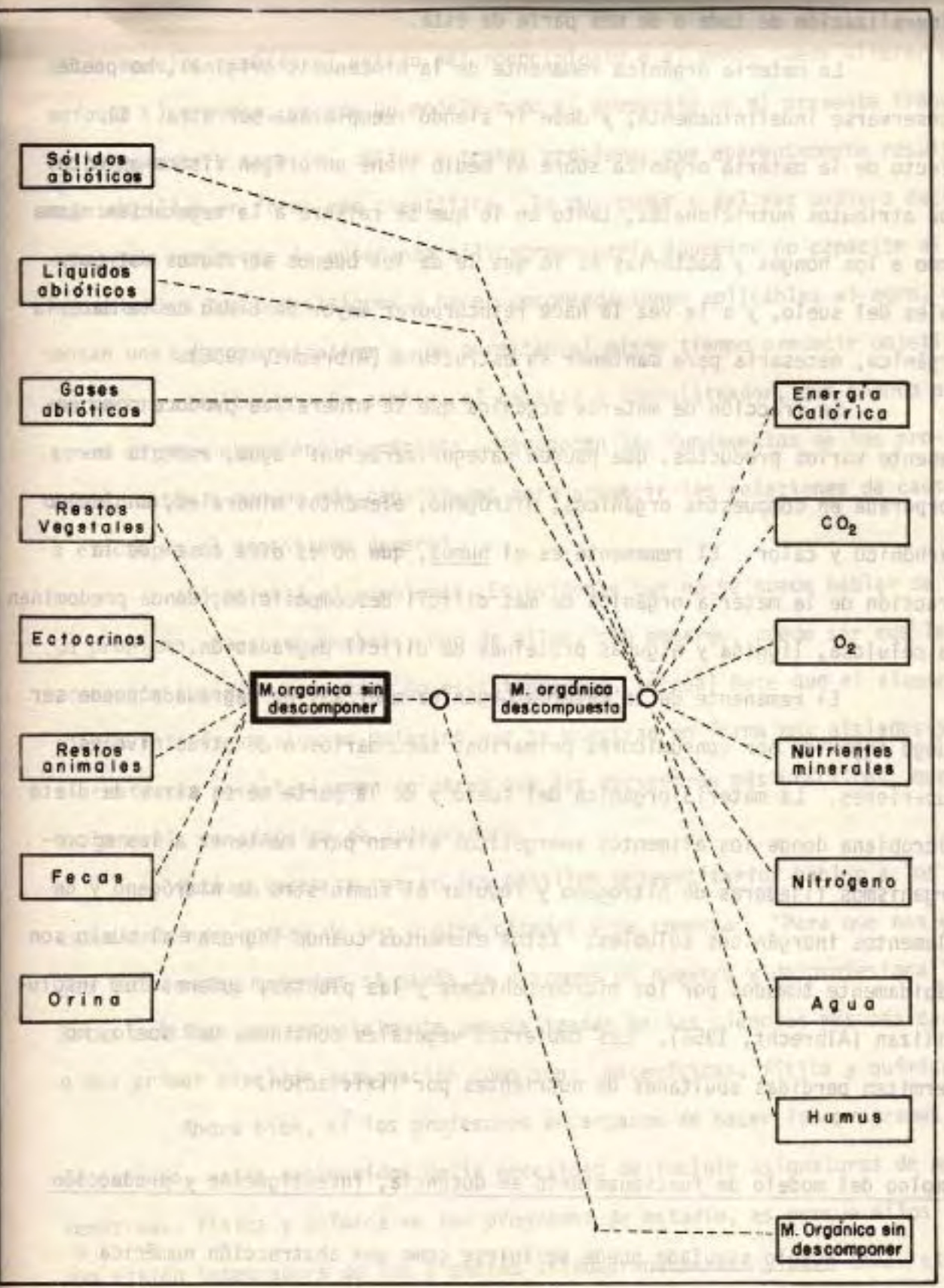


Figura 17. Aportes de recirculación al modelo.

mineralización de toda o de una parte de ésta.

La materia orgánica remanente de la biocenosis original, no puede conservarse indefinidamente, y debe ir siendo reemplazada por otra. El efecto de la materia orgánica sobre el medio tiene un orígen físico-químico. Los atributos nutricionales, tanto en lo que se refiere a la vegetación misma como a los hongos y bacterias es lo que le dá los buenos atributos estructurales del suelo, y a la vez la hace reincorporar mayor cantidad de la materia orgánica, necesaria para mantener su estructura (Albrecht, 1956).

La fracción de materia orgánica que se mineraliza produce como remanente varios productos, que pueden categorizarse en: agua, energía incorporada en compuestos orgánicos, nitrógeno, elementos minerales, anhídrido carbónico y calor. El remanente es el humus, que no es otra cosa que la fracción de la materia orgánica de más difícil descomposición, donde predominan la celulosa, lignina y algunas proteínas de difícil degradación.

El remanente de la materia orgánica muerta y no degradada puede ser luego ingerido por consumidores primarios, secundarios o de otros niveles superiores. La materia orgánica del suelo y de la parte aérea sirve de dieta microbiana donde los alimentos energéticos sirven para mantener a los microorganismos fijadores de nitrogeno y regular el suministro de nitrógeno y de elementos inorgánicos solubles. Estos elementos cuando ingresan al suelo son rápidamente tomados por los microorganismos y las plantas, quienes los insolubilizan (Albrecht, 1956). Las cubiertas vegetales continuas del suelo, no permiten perdidas abultadas de nutrientes por lixiviación.

Empleo del modelo de funcionamiento en docencia, investigación y producción

Modelo simulado puede definirse como una abstracción numérica o simbólica del proceso en estudio sin ser el proceso en sí mismo. Sin embargo,

estos modelos cambian el estado del conocimiento o al menos puede alterar el enfoque al proceso, ya que un modelo como el propuesto en el presente trabajo, es integrador y como tal obliga a tratar problemas que aparentemente resultan muy sencillos en forma más científica. Es muy común o tal vez debiera decirse demasiado común que la enseñanza silvoagropecuaria superior no capacite al estudiante a tomar decisiones y hacer recomendaciones aplicables al agro, que tengan una base cuantitativa y que permitan al mismo tiempo predecir objetivamente los resultados. En cambio, el capataz o administrador, que siendo personas de gran experiencia práctica, desconocen los fundamentos de los procesos, están a menudo más capacitados para predecir las relaciones de causa a efecto en el ecosistema general.

¿Dónde está el problema? Es evidente que no se puede hablar de un problema, pues son muchos. Uno de ellos, sin embargo, puede ser que la educación superior impartida no es integradora, lo cual hace que el alumnado pierda interés en algunas materias que se muestran en forma muy aisladas y por el contrario se entusiasmen en otras que las encuentran más prácticas, que en general, es sinónimo de integradora.

Muchas veces se oye en los pasillos universitarios hablar a los estudiantes en contra de una u otra cátedra y se comenta: "Para que nos exijen todas estas materias si jamás la usaremos en nuestra vida profesional". Estas críticas son especialmente generalizadas en las ciencias más básicas o del primer nivel de integración como son: matemáticas, física y química.

Ahora bien, si los profesores encargados de hacer los programas de estudio, están convencidos de la necesidad de incluir asignaturas de matemáticas, física y química en los programas de estudio, es porque ellos tienen una visión integradora de las ciencias silvoagropecuarias y para tener esa

visión se hace necesario lo que con frecuencia se llama ciencias básicas. Es por ésto, que la pregunta que debe hacerse es ¿porqué no se ofrece enseñanza en forma integrada?

Las respuestas pueden ser muchas, sin embargo, con el modelo de funcionamiento aqui propuesto, lo que se pretende es mostrar una de las tantas alternativas de enseñar con un concepto integrado que obligue al alumno a hacer un uso real de las materias que ya ha cursado para lograr un entendimiento más específico como podría ser: producción de oleaginosas, producción porcina y otras, que si no se imparten en forma integradora pasan a ser un recetario normalmente difícil de memorizar y sin ningun sentido científico o profesional.

El modelo de funcionamiento propuesto permite detectar cada una de las áreas necesarias en la enseñanza de los alumnos como también permite muchas veces tener más claro lo que debe enseñarse en cada una de las asignaturas. Si los alumnos que egresan de la universidad fueran capaces de entender, calcular, desarrollar y maximizar el funcionamiento y la arquitectura de modelos simulados de ecosistemas se puede decir enfáticamente que se ha tenido éxito en su educación. Solamente a modo de ejemplo se puede decir que muchas veces en materias como bovinotecnia, porcinotecnia, ovinotecnia se incluyen en sus programas el estudio de una infinidad de razas o líneas genéticas con descripciones de sus características externas, sin embargo, si estas características no se acompañan con otras como eficiencia de conversión del alimento en producto, requerimientos de mantención, curvas de crecimiento (Figura 18) descripción de la zona de termo neutralidad (Figura 19) y muchas otras, es difícil que el alumno valore la importancia de las razas como también es difícil, si no imposible, elejir una raza adecuada para un determinado ecosistema.

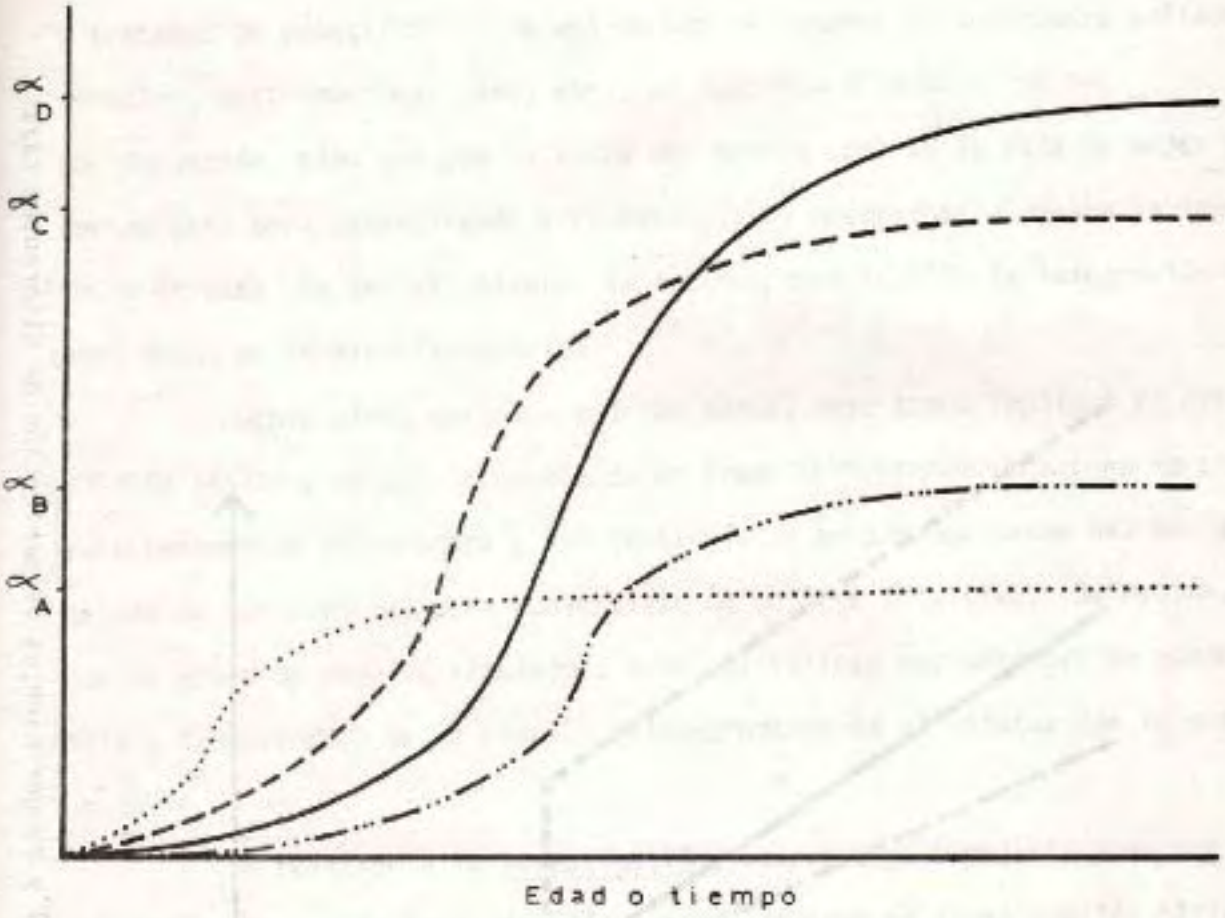


Figura 18. Curva de crecimiento en diferentes razas: A,B,C,D.

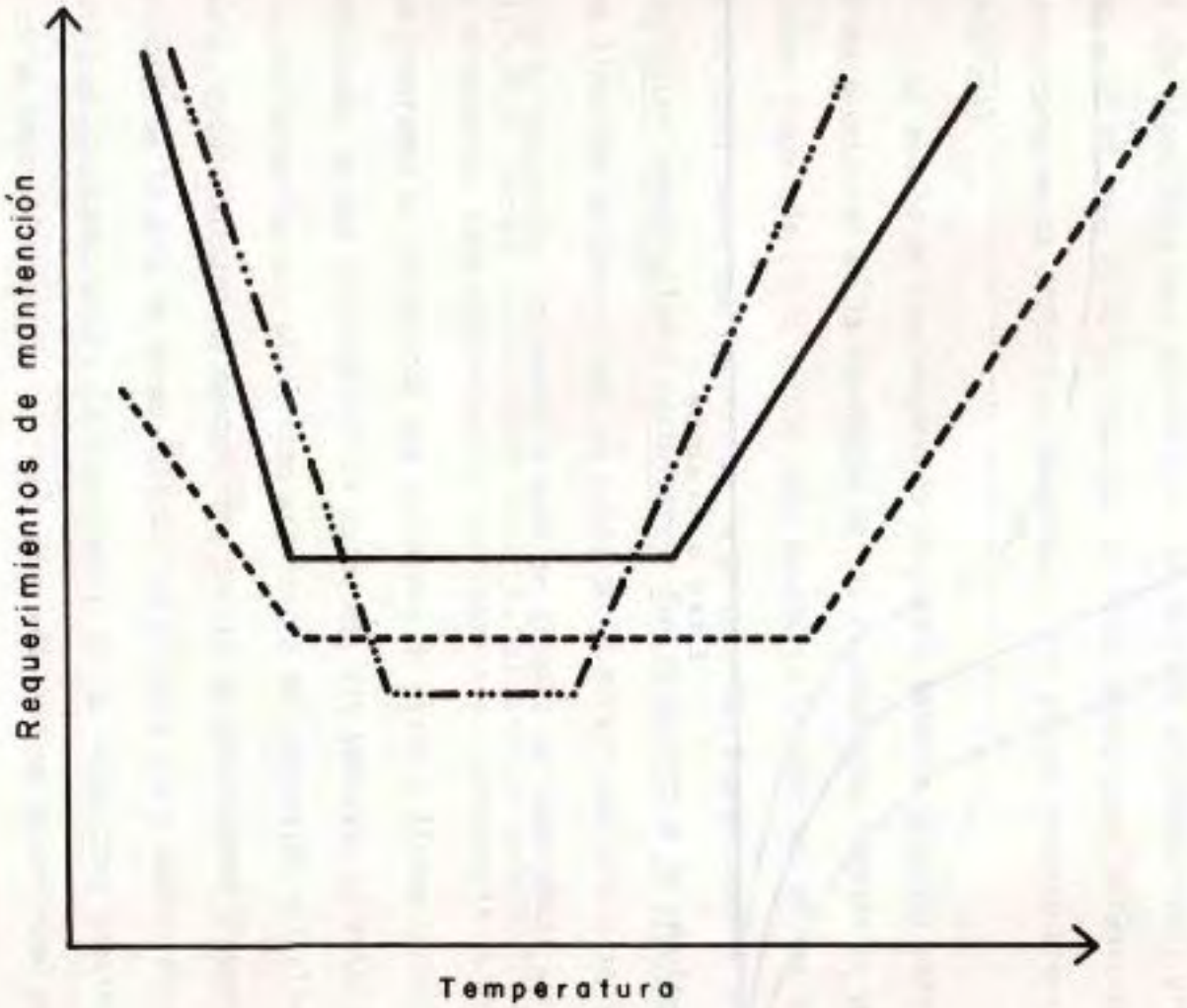


Figura 19. Relación entre temperatura ambiental y requerimientos de mantención de diferentes razas.

Junto con estas características que deben ser mostradas al alumnado y tratando de cuantificar cada una de las relaciones en ecuaciones polinomiales, normales, distribuciones gama, etc., es factible determinar ya no por intuición, sino que con la ayuda del modelo cual es la raza de mejor comportamiento para determinadas circunstancias y mostrar al alumnado la importancia de cada una de las cátedras impartidas, como también la integración de todas ellas en la ciencia agraria.

Muchos otros ejemplos podrían darse, pero todos implican el mismo concepto básico y es que la enseñanza en áreas silvoagropecuarias no ha sido suficientemente integradora y por consiguiente en algunos casos ha, incluso dejado de ser ciencia, para convertirse en un arte intuitivo. Se estima, que con la ayuda de modelos simulados, como una valiosa herramienta, se puede darle a la enseñanza de la ciencia silvoagropecuaria el estatus que le corresponde.

En relación a la investigación, ocurre algo semejante y es muy corriente oir que la investigación puede dividirse en investigación básica e investigación aplicada, y junto con eso muchos políticos, profesores y porque no decirlo incluso decanos de facultad hacen declaraciones donde sostienen que la investigación básica no le corresponde a los países en desarrollo ya que es muy cara y no se consigue beneficios inmediatos. Sin entrar a argumentar el problema se podría dividir la investigación en otras categorías, como ser:

1. Investigación cuyo objetivo inmediato es netamente académico, como podría ser estudiar el tamaño de los electrones de la capa K de algún elemento de la tabla periódica.

2. Investigación cuyo objetivo inmediato es determinar funciones de problemas específicos que pueden ser detectados en la construcción de un modelo simulado, sin lo cual el modelo no puede ser validado. Ejemplo de esta investigación podría ser el estudio de la eficiencia de uso de la luz solar por los cloroplastos.
3. Ensayos demostrativos que tienen un valioso aporte en la extensión.

Si se acepta en forma general esta clasificación es evidente que dependiendo de las necesidades una misma investigación puede ser considerada en cada una de las tres clasificaciones.

Por otra parte es común hacer un mal uso de una herramienta tan valiosa como la estadística. Como ejemplo, se puede mencionar un ensayo que compara diferentes fertilizaciones de calcio en el rendimiento de la alfalfa y de los resultados se desprende que la dosis A es significativamente mejor (P 0.01) que las dosis B y C que no muestran diferencias significativas entre si. La pregunta que debe hacerse es: ¿Es eso lo que interesa? En la generalidadde los casos la respuesta es no y lo que realmente interesa es la forma de la curva al relacionar el calcio del suelo y rendimientos de alfalfa medidos a diferentes pH, temperaturas, etc. Con este tipo de información recopilada en forma de una ecuación, que puede ser de regresión multiple, o alguna otra es posible entender el proceso como además poder ser incluída en el modelo.

La construcción de un modelo simulado y la posterior cuantificación, de cada una de las ecuaciones de flujo, con una exhaustiva revisión bibliográfica permite detectar la investigación que se requiere como también la forma en que se debe hacer, para obtener el tipo de ecuación que se necesita.

Antes de usar el modelo para producción o extensión éste debe ser validado; que en forma resumida podría decirse que consiste en medir los parámetros que el modelo indica y compararlo con la producción real que se obtiene. Una forma de probar el modelo es graficar la producción obtenida en el modelo versus la producción real y comparar ésta con una regresión simple que tiene un intercepto de 0 (a = 0) y una pendiente igual a 1 (b = 1) como lo muestra la figura 20. Además de ésto, se debe hacer un analisis de sensibilidad que consiste en que una vez que el modelo esta construido hacer variar cada una de las ecuaciones en algúna magnitud y determinar cómo ésto afecta al resultado final.

En algunos casos se encuentra que amplias variaciones en un factor no afectan en forma substancial el producto final; lo cual estaria indicando que no se debe gastar mucho esfuerzo en optimizarlo; sin embargo, otros factores, con muy pequeñas variaciones producen gran efecto en la producción total y por consiguiente deben ser investigados con mayor prioridad. Esto esta indicando que el analisis de sensibilidad de un modelo puede ser usado para determinar prioridades de investigación, lo que puede ser de gran utilidad para optimizar los recursos que se disponen para la investigación. En la figura 21, se presentan los cauces generales de canalización de la cosecha hacia la sinusia antropogenica. En la figura 22 se presenta el modelo general de funcionamiento propuesto en el presente trabajo.

Una vez que se valida el modelo, se puede usar para predecir la producción enla gama mas amplia de circunstancias y utilizando en esta predicción, el precio de cada uno de los aportes o insumos que afectan a la producción y las restricciones que se estimen adecuadas, por programación lineal es posible optimizar el resultado.

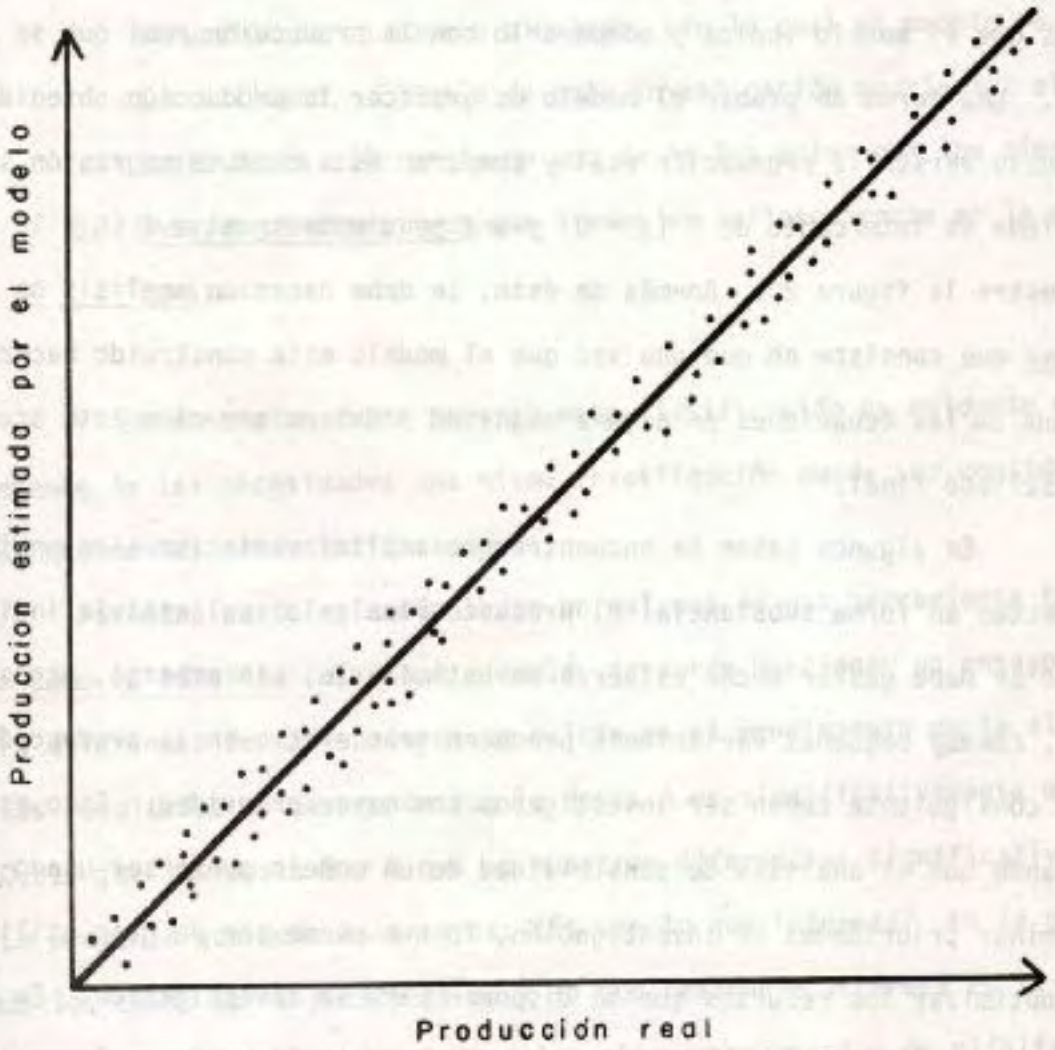
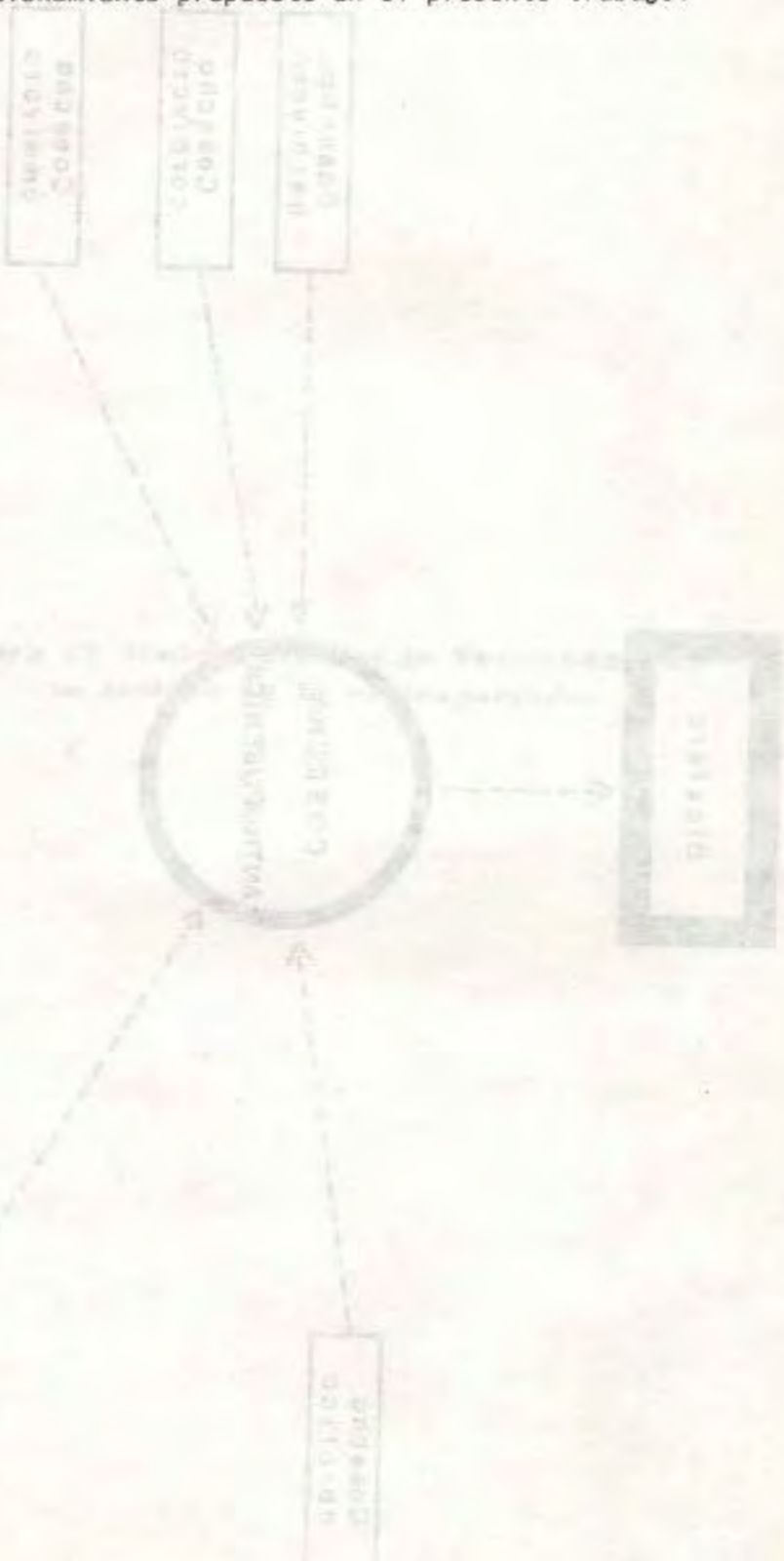


Figura 20. Representación gráfica de una validación de un modelo.

En la figura 21, se presentan los cauces generales de canalización de la cosecha hacia la sinusia antropogenica. En la figura 22 se presenta el modelo general de funcionamiento propuesto en el presente trabajo.



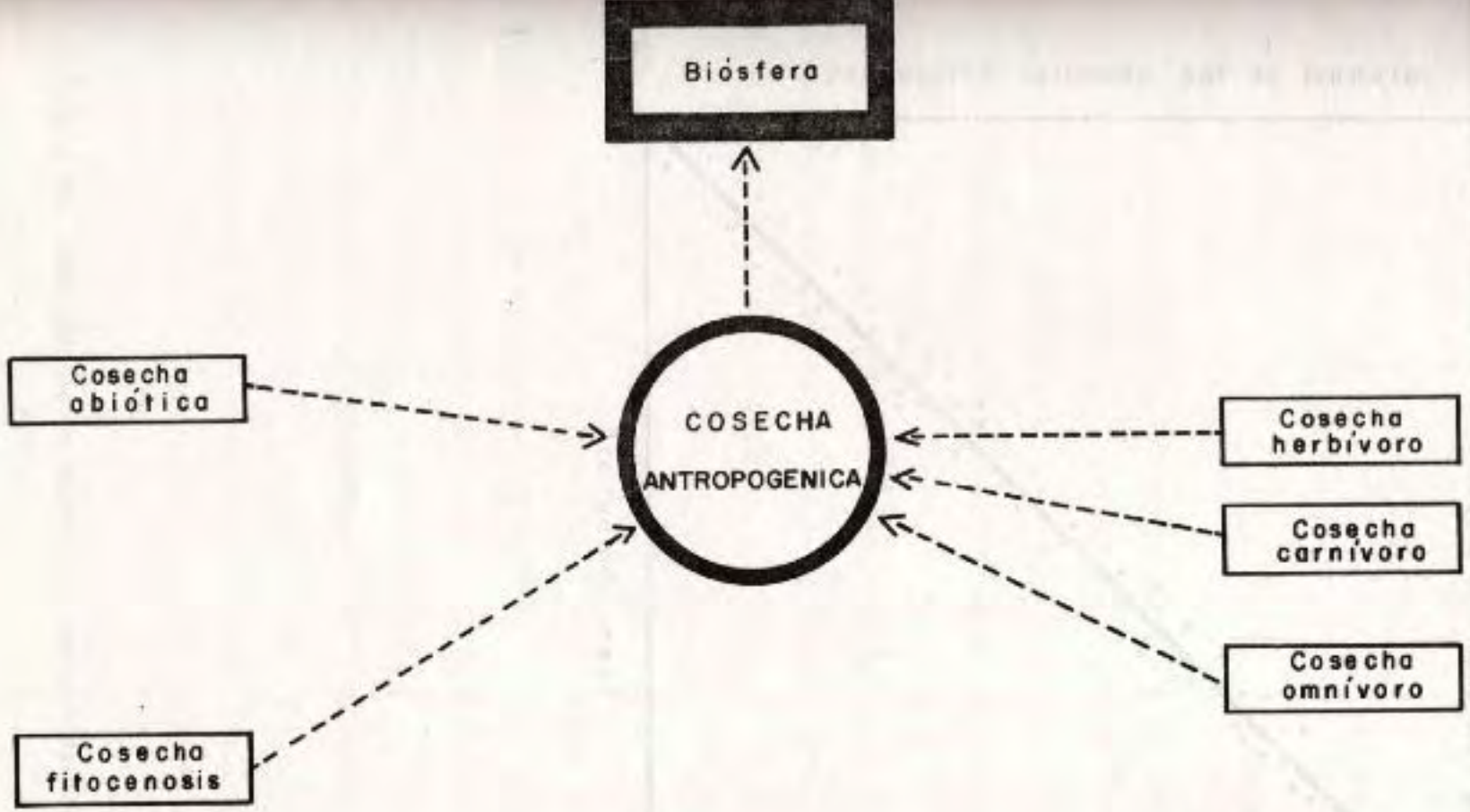


Figura 21. Cauces de canalización de la cosecha antropogénica.

Figura 22 Modelo General de Funcionamiento se incluye en la contraportada.

Bibliografía

Albrecht, W.A. 1956. Physical, chemical and biochemical changes in the soil community. En: Thomas, W.R. Man's role in changing the face of the earth. The Univ. of Chicago Press. :648-673.

Arnold, G.W. 1966. Determinación del valor nutritivo de los forrajes, método in vitro. Simposio. Métodos in vitro. La Estanzuela Colonia. Centro de Investigación y Enseñanza para la Zona Templada. Uruguay.

Berkner, L.V. y L.C. Marshall. 1965. En: Proceedings of the National Academy of Sciences. 53: 1215-1226.

Bolin, B. 1970. The carbon cuycl. En: The biosphere. W.H. Freeman. San Francisco. 14-23.

Bond, G. 1967. Fixation of nitrogen by higher plants other than legumes. En: Machlis, L., W.R. Briggs y R.B. Park (ed). Annual Review of Plant Physiology, 28.

Borman, F.H. y G.E. Likens. 1967. Nutrient cycling. Science 155: 424-429.

Brody. 1945. Bioenergetic and growth. Reinhold Pub. Corp. N.Y. 480p.

Bryant, H.T. et al. 1965. Effect of stocking pressure on animal and acre output. Agronomy Journal 57: 273-276.

Cañas-Cruchaga, R. 1974. The lactational efficiency complex in rats. Ph.D. Dissertation. U. California, Davis. 106p.

Chow, V.T. (ed). 1964. Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill Book Co. N. Y.

Cloud , P.E. 1968. Atmospheric and hydrospheric evolution on the primitive earth. Science 160: 729-736.

Cloud, P. y A. Gibor. 1970. The oxygen cycle. En: The biosphere. W.H. Freeman, San Francisco: 59-68.

Cook, W. 1964. Collecting forrage sample representatives of grazing animal for nutritional studies. Jour. An. Sci. 23: 265-270.

Craft, A.R. y L.V. Monninger. 1953. Evapotranspiration and other water losses on some aspen forest types in relation to water available for stream flow. Amer. Geo. Union Trans. 34: 563-574.

Delwiche, C.C. 1956. Denitrification. En: Symposium on inorganic nitrogen metabolism: function of metalloflavo-proteins. W.D. McElroy y B. Glass The Johns Hopkins Press.

Delwiche, C.C. 1970. The nitrogen cycle. En: The biosphere. W.H. Freeman, San Francisco: 71-80.

Gastó, J.M. 1966. Variación de los precipitaciones anuales en Chile. Univ. Chile. Fac. Agron. Est. Exp. Agronómica. Bol. Tecn. 24: 1-20.

Greenwood, D.J., J.T. Wood y T.J. Cleaver. 1974. A dynamic model for the effects of soil and weather conditions on nitrogen response. J. Agr. Sc. 82: 455-467.

Golom, B. Y H.M. Eder. 1964. Landforms made by man. Landscape 14: 4-7.

Goodell, B.C. 1963. A reappraisal of precipitation intercepted by plants and attendant water loss. J. Soil and Water Conserv. 18: 231-234.

Hardison, W.A. et al. 1954. Degree of herbage selection by grazing cattle. Journal of Dairy Science 37: 89-102.

Hospers. 1954. An introduction of philosophical analysis. Rootledge and Kegan. London.

Hull, J.L., J.H. Meyer y R. Kromann. 1961. The influence of stocking rate on animal and forage production from irrigated pasture. Journal of An. Sci. 20: (1): 46-52.

Jacobsen, T. y R.M. Adams. 1958. Salt and silt in ancient mesopotamian agriculture. Science 128: 1251-1258.

Johnston, R.S. 1971. Rainfall interception in a dense Utah aspen clone. U.S. For. Serv., Int. For. and Range Exper. Sta. INT-143.

Kummerov, J. 1966. Aporte al conocimiento de los condiciones climaticas del bosque de Fray Jorge. Univ. Chile. Fac. Agron., Est. Exp. Agronomica. Bol. Tecn. 24: 21-28.

Koong, L.J. y H.L. Lucas. 1974. A mathematical model of the joint metabolism of nitrogen and energy. Institute of Statistics. University of North Carolina. Raleight, Serie 882.

Lieth, H. 1963. The role of vegetation in the carbon dioxcide content of the atmosphere. Jour. Geophisical Research 68: 3887-3898.

Lucas, H.L., Jr. 1968. Mathematical models in animal nutrition. International Summer School on Biomathematics and Data Processing in Animal Experiment. Elsinore, Denmark.

Meidner, H. 1954. Measurements of water intake from atmosphere by leaves. New Phytol. 53: 423-426.

Meyer, J.H., G.P. Lofgreen y J.L. Hull. 1957. Selective grazing by sheep and cattle. Journal of An. Sci. 16: 765-772.

Monninger, L.V. 1951. Rainfall interception by aspen and herbaceous vegetation. Abst. Proc. Utah. Acad. Sci., Arts and Letters.

NAS. 1966. Biological energy interrelationships and glossary of energy terms.

Odum, E.P. 1962. Relationship between structure and function in the ecosystem. Japanese J. of Ecology 12: 108-118.

Olson, J.M. 1970. The evolution of photosynthesis. Science 168: 438-446.

Oort, A.H. 1970. The energy cycle of the earth. En: The biosphere. W.H. Freeman, San Francisco. : 14-23.

Patric, J. H. 1966. Rainfall interception by mature coniferous forest of southeast Alaska. J. Soil and Water Cons. 21: 229-231.

Penman, H.L. 1970. The water cycle. En: The biosphere. W.H. Freeman, San Francisco: 14-23.

Rabinowitch, E. y Govindjee. 1969. Photosinthesis. John Wiley y Sons.

Reid, J.T. 1956. Nutrition and feeding of dairy cattle. Journal of Dairy Science 39: 735-763.

Rutter, A.J. 1968. Water consumption by forests. : 23-84. En: Kizlowski, T.T. (ed). Water deficits and plant growth. Vol. 2.

Ryther, J.H. 1963. Geographic variations in productivity. En: The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas. Vol. II. M.N. Hill, (ed). Interscience Publishers.

Sanfrany, D.R. 1974. Nitrogen fixation. Sci. Amer. 231: 64-80.

Schneider, B.H. 1935. The subdivision of the metasolic nitrogen in the feces of the rat, sqine and man. Journal of Biological Chemistry 109: 249-278.

Slatyer, R.O. 1956. Absorption of water from atmosphere of different humidity and its transport through plants. Aust. J. Biol. Sci. 9: 552-558.

Slatyer, R.O. 1967. Plant water relationships. Acad. Press. London. 345p.

Spedding, C.R.W. 1971. Grassland ecology. Clarendon. Oxford. 221p.

Stone, E.C., F.W. Went y C.L. Young. 1950. Water absorption from the atmosphere by plants growing in dry soil. Science 111: 546-548.

Stewart,W.D.P. 1966. Nitrogen fixation in plants. Athlone Press.

Sudsuki, H.F. 1969. Absorbcion foliar de humedad atmosferica en tamarugo Prosopis tamarugo Phil. II. Aplicación foliar de THO en plantulas de tamarugo. Bol. Tec. 30. Est. Exp. Agron. Univ. de Chile.

Thorud, D.B. 1967. The effect of applied interception on transpiration rates of potted ponderosa pine. Water Resources Res. 3: 443-450.

White, A., P. Handler, E.L. Smith. 1968. Principle of biochemistry. McGraw-Hill Book Co. N.Y.

Woodwell. 1970. The energy cycle of the biosphere. En: The biosphere. W.H. Freeman, San Francisco. : 26-36.

Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. : 137-161. En: Sopper, W.E. y H.W. Lull (ed). Forest hydrology. Pergamon.