

Sucesión ecológica y la energía en los ecosistemas

Ing. Agr. (MSc) Claudia Flores

Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Universidad Nacional de La Plata. Argentina

¿Qué es la sucesión ecológica?

- Se denomina sucesión ecológica al proceso de desarrollo de un ecosistema en el tiempo.



Sucesión primaria: se produce en lugares que no fueron ocupados previamente por organismos vivos

Sucesión secundaria: se produce en aquellos lugares previamente ocupados por organismos vivos y que fueron perturbados por algún acontecimiento natural o **antrópico**.

- **El proceso de sucesión ecológica puede definirse a través de los siguientes parámetros:**

Es un proceso “ordenado” de desarrollo de la comunidad.

Resulta de la modificación del medio físico por parte de la comunidad

Culmina con un ecosistema estabilizado (climax)

A lo largo del proceso de desarrollo y hasta alcanzar el climax el ecosistema experimenta cambios estructurales y funcionales.





Cambios estructurales y funcionales a lo largo del proceso de desarrollo del ecosistema (adaptado de Odum, 1993)



- **Sustitución en la composición de especies**



- **Diversidad de especies**



- **Biomasa**



- **Cadenas/ Redes Tróficas**

Aumentan en complejidad



Permanecen complejas

- **Interacción entre especies**

Aumentan en complejidad



Permanecen complejas

- **Eficiencia en el uso global de nutrientes y energía**

Aumentan en complejidad



Permanecen complejas

- **Ciclos de los nutrientes**

Flujo a través de ciclos abiertos



Ciclos internos cerrados

- **Retención de nutrientes**

Baja retención, corto tiempo de recambio



Alta retención, largo tiempo de recambio

- **Forma de crecimiento**

Especies estrategas r



Especies estrategas k

Cambios en los propiedades del agroecosistema



- **Estabilidad**



- **Resiliencia**



Productividad primaria bruta, productividad primaria neta y productividad neta de la comunidad



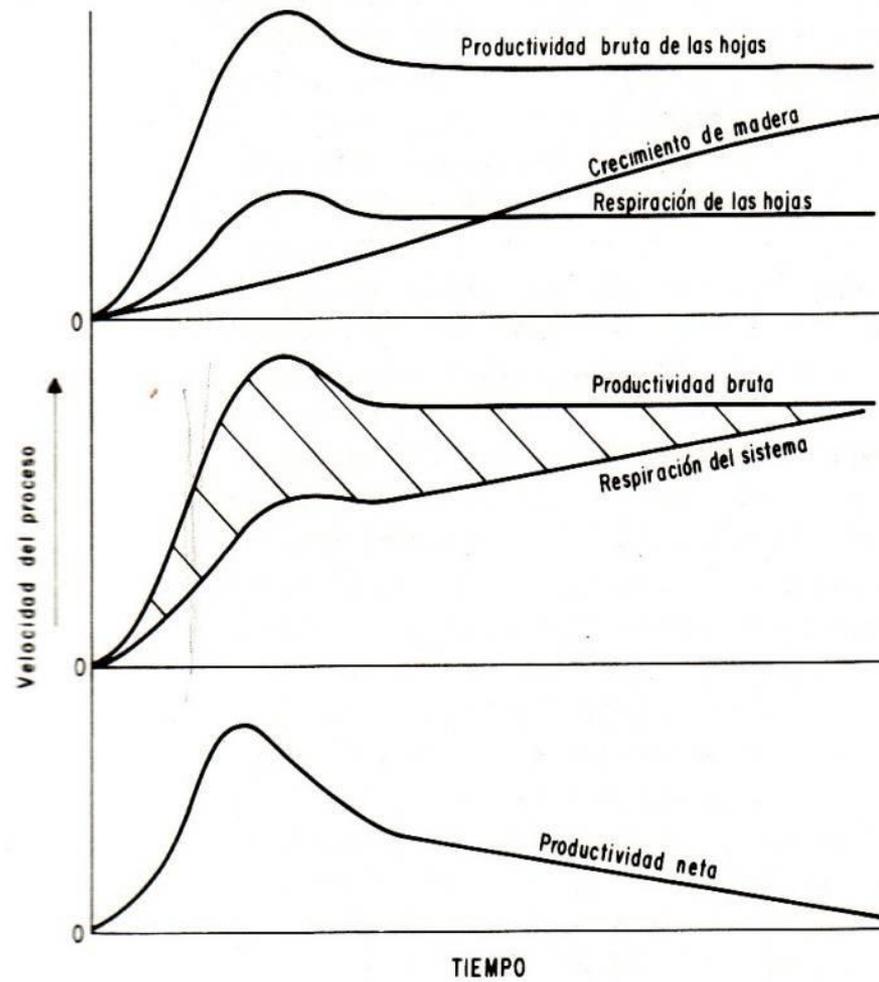
- **Productividad primaria bruta (PPB):** es la cantidad total de energía fijada por unidad de área en un tiempo dado.
- **Productividad primaria neta (PPN):** es la energía fijada por unidad de área en un tiempo dado después de restarle la respiración de los autótrofos.
- **Productividad neta de la comunidad (PNC):** es la energía fijada por unidad de área en un tiempo dado luego de restarle la respiración de las propias plantas y de todos los heterótrofos de la comunidad.

$$PNC > 0$$

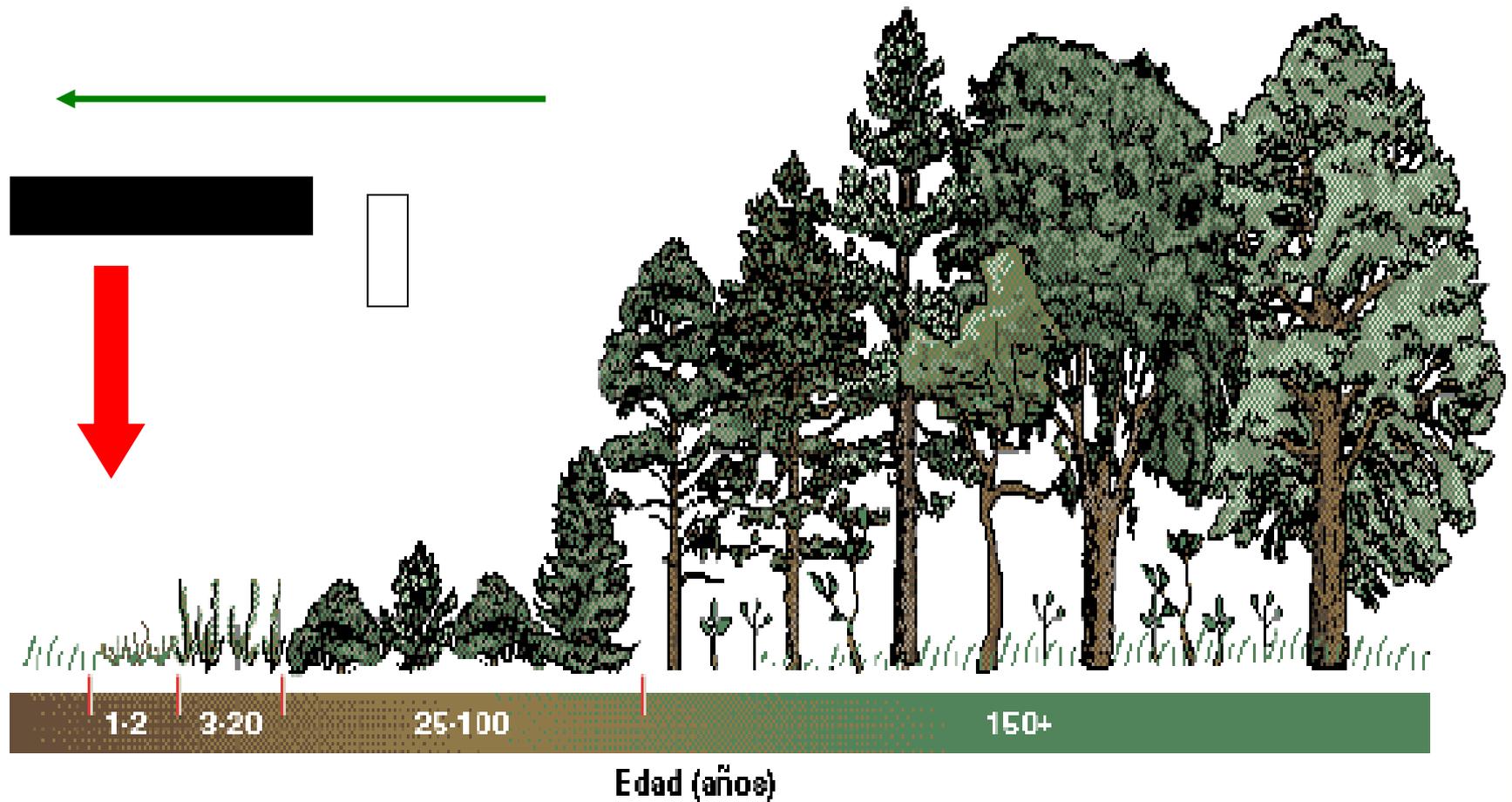
$$PNC = 0$$

$$PNC < 0$$

Cambios en la respiración, productividad bruta y neta a lo largo del proceso de sucesión ecológica (extraído de Lugo, 1982)



Sucesión Ecológica



PRODUCCIÓN Y RESPIRACIÓN ANUALES, EN Kcal/M²/AÑO, EN ECOSISTEMAS DE TIPO DE DESARROLLO Y DE ESTADO PERMANENTE

	<i>Campo de alfalfa (EE.UU.)*</i>	<i>Plantación de pino joven (Inglaterra)†</i>	<i>Bosque de pino y roble de edad mediana (N. York)‡</i>	<i>Manantial abundante (Silver Springs, Florida)§</i>	<i>Bosque-maduro de lluvia (Puerto Rico) </i>	<i>Sonda costera (L. Island N. Y.)¶</i>
Producción primaria bruta (PPB)	24 400	12 200	11 500	20 800	45 000	5 700
Respiración autotrófica (R _A)	9 200	4 700	6 400	12 000	32 000	3 200
Producción primaria neta (PPN)	15 200	7 500	5 000	8 800	13 000	2 500
Respiración heterotrófica (R _H)	800	4 600	3 000	6 800	13 000	2 500
Producción neta de la comunidad (PNC)	14 400	2 900	2 000	2 000	Muy pequeña o nula	Muy pequeña o nula
Razón PPN/PPB (porcentaje)	62.3	61.5	43.5	42.3	28.9	43.8
Razón PNC/PPB (porcentaje)	59.0	23.8	17.4	9.6	0	0

* Según Thomas y Hill, 1949. La respiración calculada como pérdida del 5-por 100 de insectos y organismos de enfermedad.

† Según Ovington, 1961. Producción anual mediana, 0-50 años, plantación de una sola especie. La PPB está calculada a partir de la medición de pérdidas respiratorias en los pinos jóvenes, por Tranquillini, 1959. Una parte de la PNC cosechada (exportada) por el hombre como madera.

‡ Según Woodwell y Whittaker, 1968. Regeneración natural, a continuación de incendio, de 45 años; ninguna recolección de madera por el hombre.

§ Según H. T. Odum, 1957.

|| Según H. T. Odum y Pigeon, 1970.

¶ Según Riley, 1956.

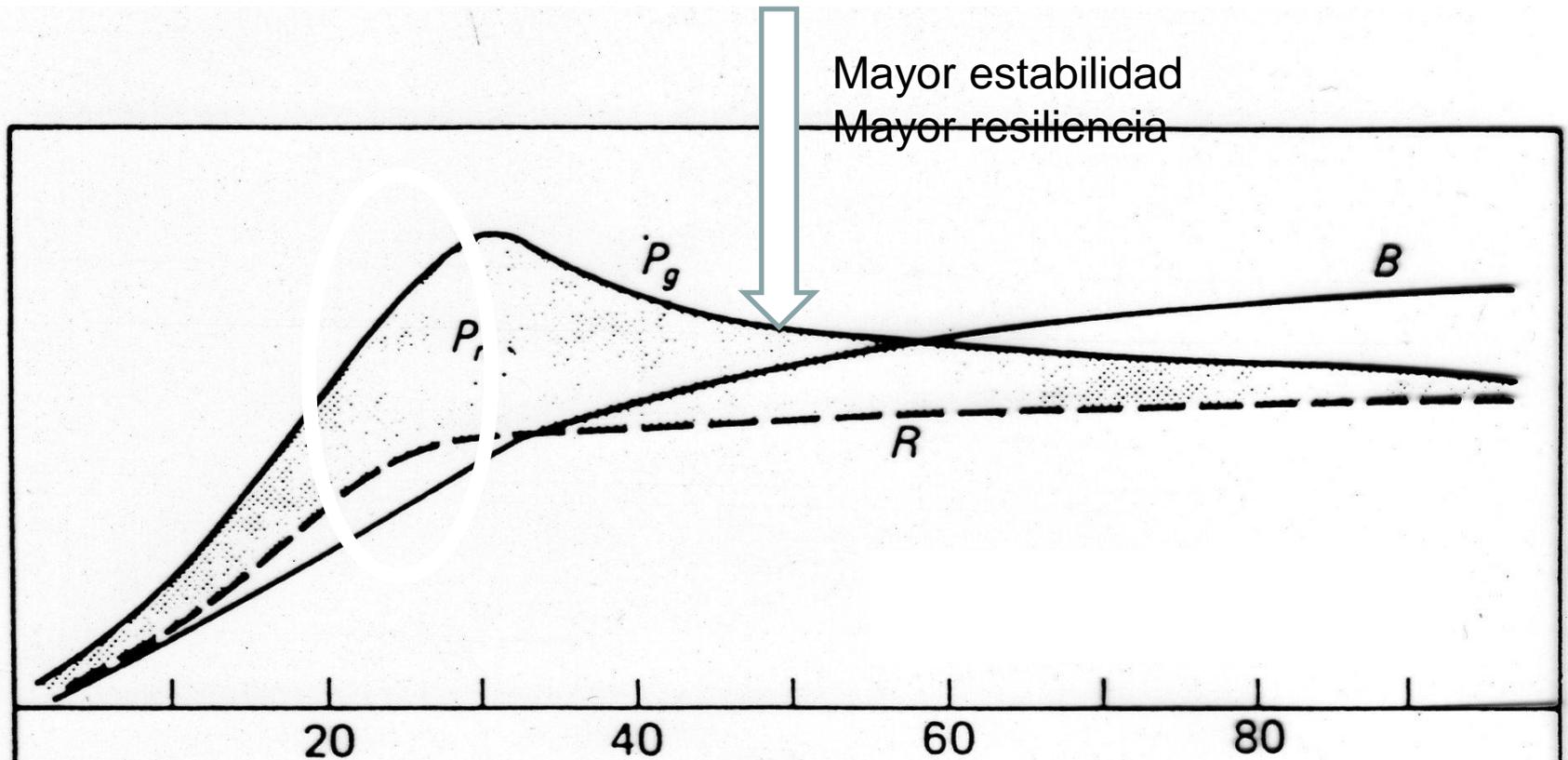
Nota: Los factores de conversión de materia seca y carbono en Kcal como en el cuadro 3-1. Todas las cifras redondeadas a las 100 Kcal más cercanas.

Características ecológicas deseables del agroecosistema en relación al desarrollo sucesional (Gliessman, 2000)



Etapa sucesional de mayor desarrollo				
Características	Temprana	Media	Tardía	Beneficios para el agroecosistema
Alta diversidad de especies				Reduce el riesgo de pérdidas de cultivo por catástrofes
Alta biomasa total				Fuente importante de materia orgánica para el suelo
Alta productividad primaria neta				Mayor potencial de biomasa cosechable
Complejidad de relaciones entre especies				Mayor potencial para el control biológico
Ciclo de nutrientes eficientes				Disminución del uso de insumos externos
Interferencia mutualista				Mayor estabilidad: disminución en el uso de insumos externos

¿Cómo se vinculan estos conceptos al desarrollo de sistemas agrarios sustentables?



El flujo de energía en los ecosistemas



- La energía es el soporte fundamental para la vida en el planeta
- A diferencia de los materiales, cuyos átomos puede ser utilizados una y otra vez circulando repetidamente entre los organismos vivientes y no vivientes, la energía no puede ser reutilizada.

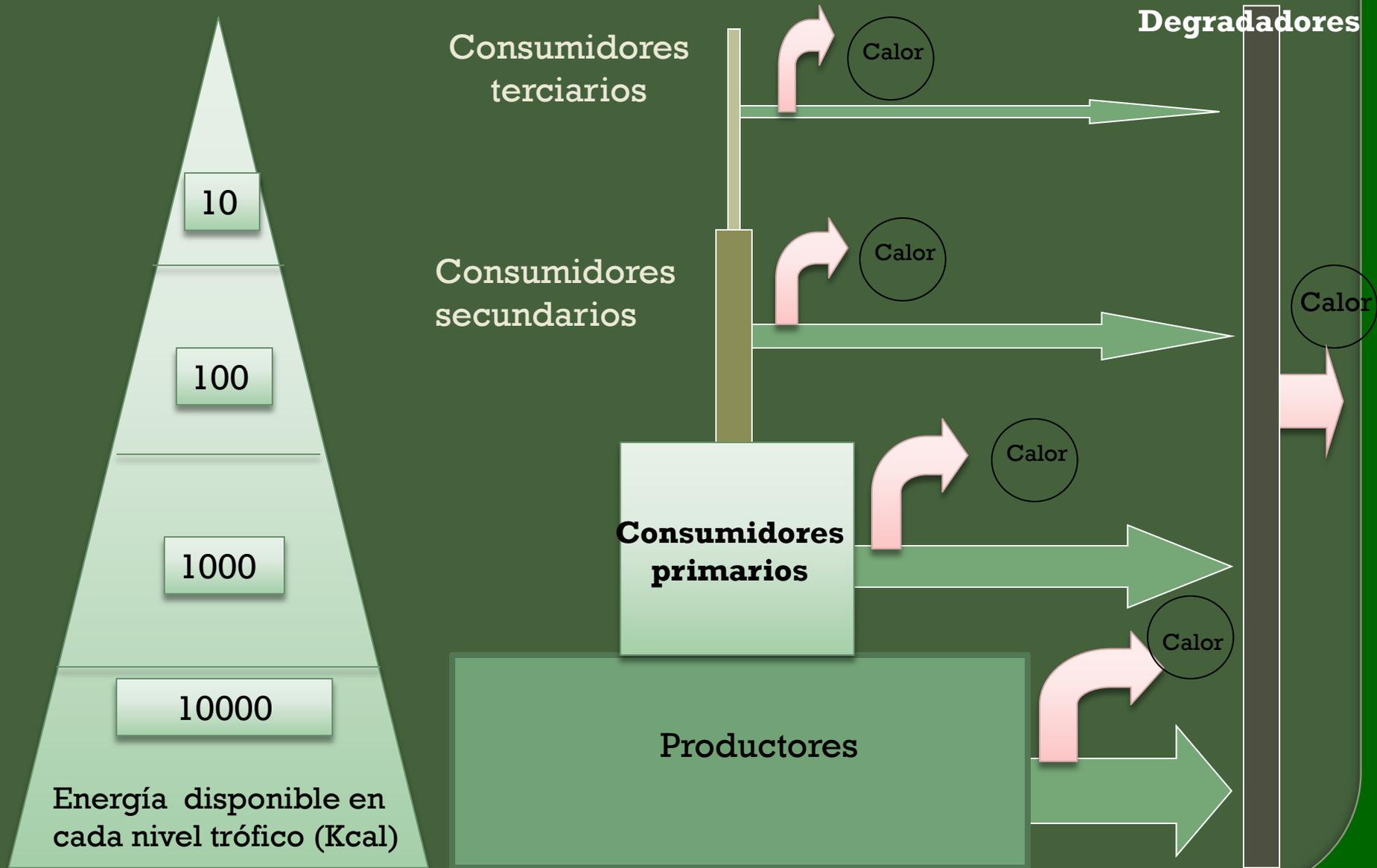
La energía no se cicla, es un flujo unidireccional.

El flujo de energía y las leyes de la termodinámica

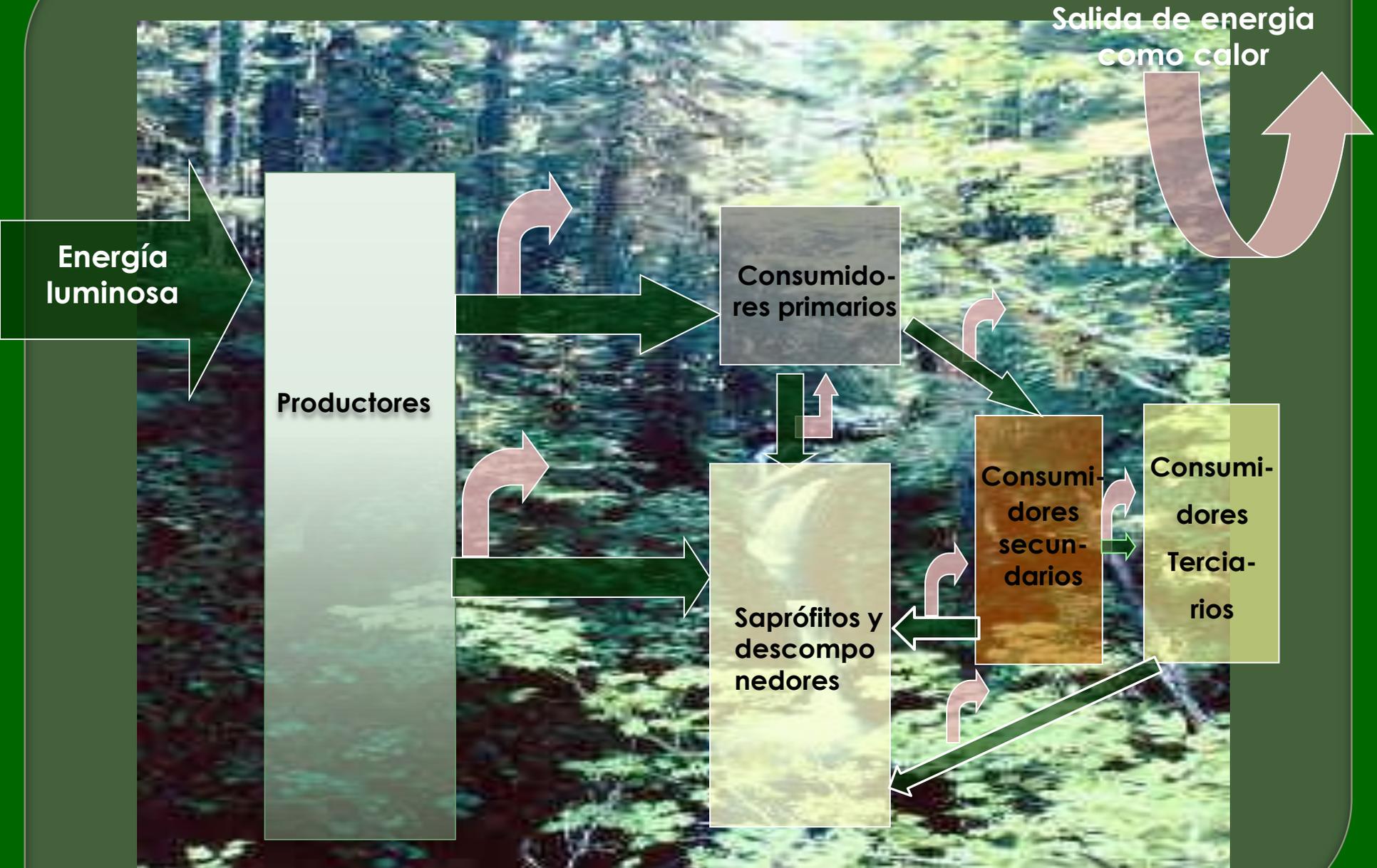


- Este flujo unidireccional es gobernado por la primera y segunda ley de la termodinámica.
- **Primera ley, (ley de la conservación de la energía)** establece que la energía no se crea ni se destruye.
- La **segunda ley (principio de la entropía)** establece que cuando la energía es transferida o transformada, parte de ella es convertida en calor, una forma no disponible para realizar un trabajo.

Pirámide del flujo de energía en los ecosistemas. Extraído de Miller, 1994 (modificado)



Flujo de energía en un ecosistema natural



- En los Agroecosistemas, el flujo de energía sufre importantes modificaciones.
- El objetivo de la agricultura es manipular los flujos de energía con el propósito de obtener una cierta productividad neta que pueda ser extraída como producto.
- Esto determina dos diferencias fundamentales con relación a los ecosistemas naturales:
 - a) La necesidad de contrarrestar la tendencia natural del sistema a dirigirse hacia un estado de equilibrio (clímax) en donde la PNC es igual a cero, para lo cual es necesario realizar un gasto de energía.
 - b) La salida de energía del sistema en forma de biomasa cosechada

Flujo de energía en un agroecosistema



Tipos de aporte de energía en la agricultura.



La energía asociada

- La energía asociada es el costo energético total de un insumo, es decir, el consumo de energía desde la extracción de la materia prima hasta la entrega del producto manufacturado en el campo)
- *La energía asociada a la producción de los diferentes insumos agrícolas puede ser calculada a partir de los valores de energía requeridos para la manufactura de los distintos productos.*

Energía asociada a diferentes insumos industriales de uso común en Agricultura (valores tomados principalmente de Hernánz *et al.*, 1995 y de otros autores).
Fuente: Flores y Sarandón (2003).

Energía asociada a diferentes insumos industriales de uso común en agricultura

INSUMOS	ENERGIA ASOCIADA	UNIDADES
MAQUINARIA		
Arado de reja	67,7	
Cinzel	28,7	
Arado de disco	44,8	
Rastra de discos doble acción*	54,7	
Rastra de dientes*	13,0	
Cultivador	17,3	MJ ha ⁻¹
Vibrocultivador	15,5	
Sembradora	28,4	
Sembradora Siembra Directa	54,5	
Fertilizadora	3,7	
Pulverizadora *	15,1	
Cosechadora	83,9	
Rastrillo	8,4	
Enfardadora	37,6	
COMBUSTIBLE (Gas Oil)	47,8	MJl ⁻¹
FERTILIZANTES		
N	80	
P	14	MJKg ⁻¹
K	7	
ESTIÉRCOL	62,7	MJTon ⁻¹
SEMILLAS		
Trigo	13	
Cebada de invierno	13	MJKg ⁻¹
Cebada de primavera	13	
Vicia	10	
INSECTICIDAS¹	355	MJ l ⁻¹
HERBICIDAS		
Glifosato	450	MJ l ⁻¹
Paraquat	450	
Otros	185	

¹ Insecticidas según Pimentel *et al.*, 1990*

* Según Zentner *et al.*, 2004

El uso de energía industrial y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas



- Desde el punto de vista de la sustentabilidad, es importante analizar la eficiencia con que se utiliza la energía cultural para la conversión de energía solar en biomasa.
- Para medir esta forma de uso de la energía pueden relacionarse los flujos de entrada y salida de energía del agroecosistema calculando, de esta manera, la **eficiencia energética de una producción** determinada.

¿Cómo se calcula la Eficiencia Energética?



- *Como la relación entre la energía salida (ES) y la energía ingresada (EI) de ese sistema ($EE = ES/EI$). Es decir, cuantas unidades de energía obtengo por cada unidad de energía agregada al sistema. A mayor valor, mayor eficiencia*

Tabla 4.1.3: Ejemplo del cálculo de consumo y rendimiento de energía por hectárea para producción de maíz convencional y orgánico en Iowa

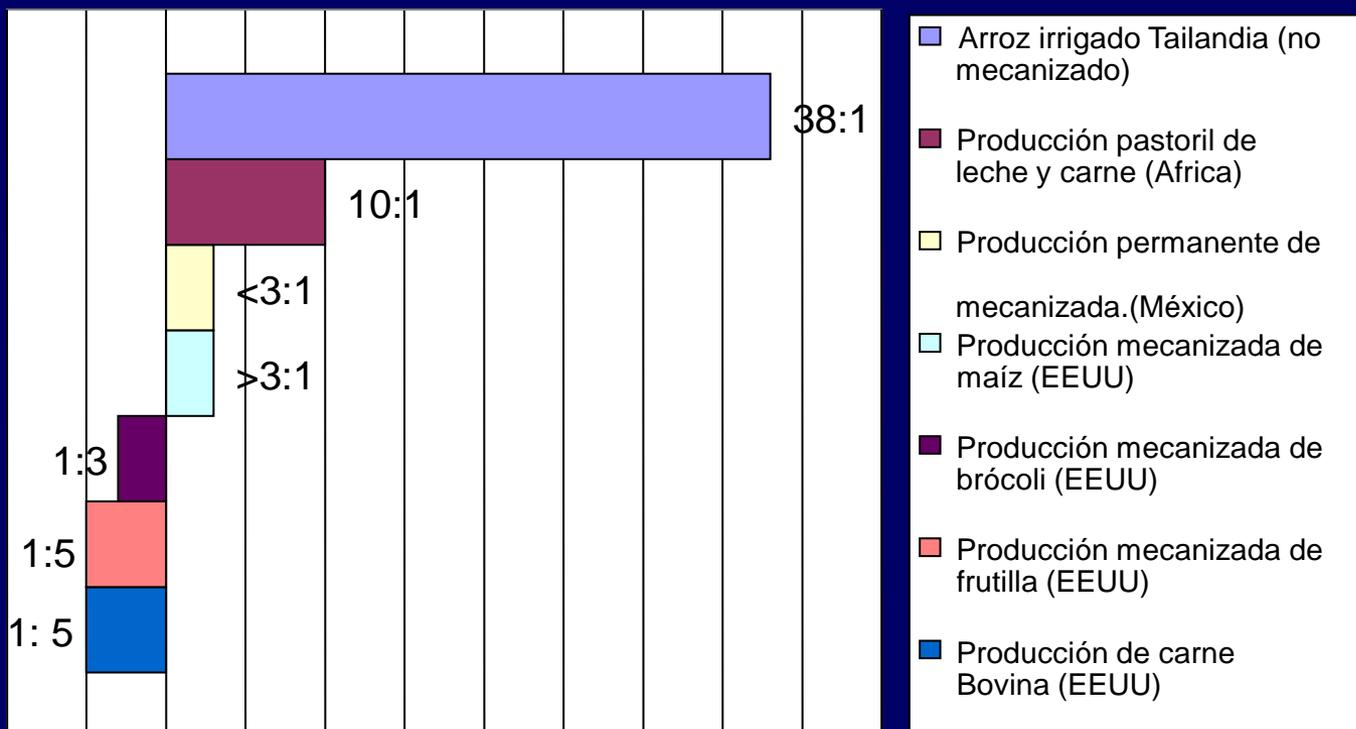
Fuente: Pimentel et al.(1990) Energy efficiencies of farming wheat, corn, and potatoes organically. En Organic Farming: current technology and its role a sustainable agriculture. ASA. Special Publication 46. 151;161

Item	Convencional		Orgánico	
	Cantidad ha ⁻¹	Kcal. ha ⁻¹	Cantidad ha ⁻¹	Kcal. ha ⁻¹
Maquinaria (Kg)	55	990000	55	990000
Nafta (litros)	96,7	977540	96,7	977540
Diesel (litros)	26,7	304526	26,7	604526
LP gas (L)	21,5	165889	21,5	165889
Electricidad (kwh)	27,9	79906	27,9	79906
Nitrógeno (Kg)	140,2	1682040	25000 ⁽¹⁾	375000
Fósforo (Kg)	72,9	218670	35,4 ⁽²⁾	46020
Potasio (Kg)	84,1	134560	9,1 ⁽³⁾	20020
Cal (Kg)	632,5	199513	632,5	199513
Semillas (Kg)	18,5	462500	18,5	462500
Insecticidas (Kg)	2,2	186857	0	0
Herbicidas (Kg)	7,9	792286	0	0
Cultivaciones extra (Kg)	0	0	8	91300
Transporte (Kg)	181,4	46622	181,4	46622
Total		6240909		3758836
Rendimiento de maíz (Mg)	8,00	27884830	7,93	27606156
Eficiencia energética:				
Kcalrendimiento/Kcal gastadas		4,47		7,34
Mg consumidos/hora de labor (Mg hora ⁻¹)		0,834		0,535

- En general, cuanto mayor es el aporte de energía externa, mayor es la productividad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, cuando el aporte de energía cultural es muy alto, la eficiencia energética de los sistemas disminuye. Es decir los sistemas pueden ser altamente productivos y muy poco eficientes energéticamente

Figura 4.1.5: Eficiencia energética de diferentes sistemas de producción.

Fuente: Gliessman (2001) en base a datos de Pimentel (1980) y Cox & Atkins (1979)



A modo de síntesis



- **La productividad neta es la razón de ser de los sistemas agrícolas**
- **Para lograr una alta productividad neta, la actividad agropecuaria manipula los flujos de energía con el fin de obtener sus productos. Para ello es imprescindible la incorporación de energía cultural.**
- **Cuanto más simplificados y productivos son los sistemas mayor es la cantidad de energía de tipo industrial requerida.**
- **Pero, muchas veces, esa productividad se logra a expensas de transformar poco eficientemente un recurso no renovable (el petróleo) en comida.**
- **Este es uno de los puntos críticos a la sustentabilidad de los sistemas de producción actuales**

- **Para lograr agroecosistemas sustentables es importante lograr altos niveles de productividad del sistema junto con estabilidad y resiliencia.**
- **Muchas veces, estos objetivos parecen contrapuestos.**
- **Sin embargo, los mismos pueden alcanzarse trabajando con estrategias productivas que traten de reproducir las características de etapas sucesionales menos juveniles.**
- **Para lograr esto, el aumento de diversidad dentro de los sistemas productivos es una estrategia clave.**