

**INSTITUCIÓ CATALANA
D'ESTUDIS AGRARIS
EL FOC, FONT DE VIDA,
A CÀRREC DE
JOSEFINA PLAIXATS BOIXADERA,
DE LA UNIVERSITAT
AUTÒNOMA DE BARCELONA**

La vida suposa un descens d'entropia, és a dir, integrar un material més o menys desordenat en unitats altament ordenades, com ho són els organismes vius. Per això es necessiten grans quantitats d'energia i l'única font d'energia suficientment abundant és l'energia radiant del Sol. Els únics organismes dotats d'un sistema capaç de transformar aquesta energia en una altra d'utilitzable per a tots els éssers vius, és a dir, en energia química, són les plantes verdes i els microorganismes fotosintètics. D'aquí es dedueix la gran importància de les plantes, atès que constitueixen la base de la vida sobre la Terra. És des d'aquesta perspectiva que analitzarem l'eficàcia de les plantes com a transformadores d'aquest extraordinari recurs natural que és el foc del Sol, font de vida.

1. INTRODUCCIÓ

La vida suposa un descens d'entropia, és a dir, integrar un material desordenat en unitats altament ordenades, com ho són els organismes vius. L'única font d'energia suficientment abundant és l'energia radiant del Sol.

Els únics organismes dotats d'un sistema capaç de transformar aquesta energia en una altra d'utilitzable per a tots els éssers vius, és a dir, en energia química, són les plantes verdes i els microorganismes fotosintètics. D'aquí es dedueix la gran importància de les plantes, atès que constitueixen la base de la vida sobre la Terra.

Així, el foc del Sol i la vida es troben lligats tan íntimament que són inseparables per naturalesa. És des d'aquesta perspectiva que analitzarem l'eficàcia de les plantes com a transformadores d'aquest extraordinari recurs natural que és el foc del Sol, font de vida.

2. LA RADIACIÓ SOLAR

El Sol és una estrella que es va formar fa 4.600 milions anys. Està formada per hidrogen (70 % de la massa solar), heli (29 % de la massa solar), oxigen, carboni, neó, nitrogen, silici, sofre, magnesi, ferro, sodi, alumini, argó i calci (<1 % de la massa solar). El Sol es troba a la meitat de la seva vida com a estrella.

La radiació solar es transmet com a llum i calor en forma d'ones electromagnètiques de diferent longitud i ha de recórrer 149,6 milions de quilòmetres fins al límit superior de l'atmosfera, on arriba amb una intensitat de $4.921 \text{ MJ/m}^2 \text{ h}^{-1}$ (Duffie i Beckman, 1991).

El 31,3 % de la radiació rebuda en el límit superior de l'atmosfera és reflectida a l'espai i la resta penetra per l'atmosfera.

La radiació no reflectida travessa les capes atmosfèriques, de manera que un 19,6 % és retinguda. El 50,9 % restant arriba a la superfície de la Terra. Un cop la superfície terrestre ha absorbit la radiació, la retorna en forma de radiació d'ona llarga a l'atmosfera.

El Sol emet radiacions de diferents longituds d'ona: UV (200-400 nm), absorbides (3 %) majoritàriament per l'ozó; visibles (400-700 nm), que intervenen en les reaccions de la fotosíntesi (50 %), i infrarrogues (700-4.000 nm), que corresponen a l'ona llarga (47 %) i són les responsables de l'escalfament de l'aire i el sòl i també de l'evaporació de l'aigua. La temperatura de la superfície terrestre, els moviments d'aire i del vapor d'aigua depenen en gran part d'aquest tipus de radiació.

3. LA FOTOSÍNTESI

La fotosíntesi és el procés mitjançant el qual les plantes capten l'energia solar i la transformen en energia química, la qual permet sintetitzar els components cel·lulars dels vegetals.

L'aparició de la fotosíntesi oxigènica basada en la fotòlisi de l'aigua és probablement el fet més important en la història de la vida perquè ha permès desenvolupar organismes molt més actius. Aquest procés es realitza en uns suborgànuls cel·lulars que són els cloroplasts. En la seva estructura es distingeix els grana, que contenen els pigments fotosintètics capaços de captar l'energia lumínica, i l'estroma, on té lloc la biosíntesi dels hidrats de carboni.

Els pigments principals són les clorofil·les *a* i *b*. La síntesi d'un gram de matèria orgànica (m. o.) requereix el CO_2 contingut en 2.400 l d'aire.

Podríem pensar que aquest procés és potencialment infinit, però no és així. El sistema se satura, de manera que, per més intensitat de llum que arribi, no hi ha captació, com passa amb la majoria dels fenòmens que ocorren en les plantes. També se saturen els enzims que formen part de la biosíntesi d'hidrats de carboni perquè són lents. Així doncs, el rendiment de la fotosíntesi és molt baix (1-2%).

3.1. *Fotosíntesi i origen de la vida*

El nostre planeta va néixer fa aproximadament 4.500 milions d'anys. La informació geològica, geoquímica i bioquímica de què disposem deixa ben clar que la composició de l'atmosfera primigènica era molt diferent de l'actual. Al principi, i recents estudis ho avalen, estava composta per gas metà, amoníac, diòxid de carboni i vapor d'aigua (Houghton

et al., 1990; Cattling *et al.*, 2001). No hi havia ni nitrogen ni oxigen.

Es creu que fa 3.800 milions d'anys, en condicions ambientals reductores i amb un procés no del tot desconegut, varen aparèixer cèl·lules procariotes primitives anaeròbiques i heterotròfiques capaces d'autoduplicar-se (àcids nucleics).

Probablement, tot i que no és del tot segur, els primers organismes fotosintètics del planeta van ser les algues cianofícies o cianòfits (també dits *cyanobacteris*). En tenim un registre fòssil que data de 3.500 milions d'anys, i són els *estromatòlits* (precambrià). Els més antics que s'han trobat són els de Warrawoona (Austràlia).

El que sí s'ha constatat amb proves geològiques és l'existència de roques que es van formar en un ambient oxidant fa 2.500 milions d'anys, la qual cosa coincideix també amb la presència d'estromatòlits de cianofícies.

Una gran part d'estudis científics estan d'acord que va ser a partir de l'aparició dels cianòfits quan es va produir l'evolució bioquímica i biològica fins a arribar a les plantes verdes (Schopf, 1999).

L'aparició de la fotosíntesi oxigènica, tot i ser l'oxigen un subproducte de la fotosíntesi, va originar la desaparició massiva de molts microorganismes anaerobis ara fa 2.000 milions d'anys, de manera que la composició de l'atmosfera d'aquell moment i l'actual era ja bastant similar.

L'edat d'or de les cianofícies es va produir fa 580 milions d'anys. No és fins fa 400 milions d'anys que apareixen les primeres fanerògames; després, les plantes vasculars, les angiospermes i, finalment, les primeres gramínies.

Abans de l'aparició de les fanerògames, apareix la fauna de l'ediacarà, els primers cordats, que després es van convertir en artròpodes (400 milions d'anys), els amfibis (370 milions d'anys), els rèptils (310 milions d'anys), els dinosaures, (215 milions d'anys), els ocells (145 milions

d'anys), els primats (60 milions d'anys) i els homínids (2 milions d'anys).

Així, primer hi va haver un període de 1.000 milions d'anys d'evolució química, un període de 2.700 milions anys d'evolució bioquímica dominat pels procariotes, primer anaeròbics i després aeròbics, i finalment, fa 800 milions d'anys, s'inicià el període d'evolució eucariòtica.

La fotosíntesi és el procés que ha generat la vida en el nostre planeta i cal assenyalar que aquest fenomen fisiològic vegetal també ha experimentat la seva evolució. El resultat d'aquesta evolució és l'existència de tres sistemes diferents del procés fotosintètic que tenen relació amb la capacitat d'adaptació de les plantes al medi canviant.

3.2. *Fotosíntesi C₃*

Les plantes C₃ són aquelles en què el primer producte estable en el procés de la fotosíntesi és un compost de tres carbonis que forma part del cicle de Calvin (Bassham i Calvin, 1957). En aquest cicle s'incorpora CO₂ sobre la Ru5P (ribulosa-5-fosfat) mitjançant l'acció carboxilasa de l'enzim Rubisco, de manera que s'obté, entre altres productes, la formació de sacarosa i la regeneració de l'acceptor del CO₂. Però l'enzim Rubisco també presenta activitat oxigenasa i és la responsable de la fotorespiració i del rendiment baix de la fotosíntesi. La Rubisco és bifuncional i actua en un sentit o altre en funció de les condicions del medi. D'altra banda, cal assenyalar que aquest enzim representa entre el 20-30 % del contingut proteic de les plantes i és una de les proteïnes més abundants de la naturalesa.

El cicle de Calvin o cicle reductor de les pentoses fosfat és el sistema majoritari d'incorporació de CO₂ en els éssers fotosintètics oxigènics i també es troba en la fotosíntesi bacteriana.

na no oxigènica i en bacteris no fotosintètics. Tot això demostra que aquest cicle es va originar en organismes més primitius que les algues eucariotes quan l'atmosfera contenia concentracions més elevades de CO_2 i una baixa o nul·la concentració de O_2 d'acord amb l'esmentat anteriorment. Si l'enzim Rubisco ja era bifuncional, la menor concentració de O_2 impedia la funció d'oxigenasa i, per tant, no es produïa fotorespiració. Així, es pot considerar que la fotosíntesi C_3 és la base fonamental de l'autotròfia. El 85 % de les espècies són C_3 .

3.3. Fotosíntesi C_4

Les plantes C_4 són aquelles en què el primer producte estable en el procés de la fotosíntesi és un compost de quatre carbonis. Una característica important és que, en aquesta ruta metabòlica, la captació del CO_2 i la biosíntesi d'hidrats de carboni (cicle de Calvin) es troben separades en l'espai d'acord amb l'anatomia foliar de tipus *kranz* o en corona. D'aquesta manera, s'evita el procés de fotorespiració, amb la qual cosa aquestes plantes presenten un creixement elevat sobretot quan es troben en ambients de temperatures i radiació elevades. En general, la fotorespiració representa el 40 % de la fotosíntesi neta en les plantes C_3 , mentre que en les C_4 és pràcticament nul·la. És per això que les espècies C_4 tenen un gran interès en agricultura perquè són molt productives. Una de les espècies que més s'ha estudiat és el blat de moro (*Zea mays* L.) per la seva importància en alimentació humana i animal, del qual s'obté un rendiment fotosintètic de fins a un 4-5 %. Les espècies C_4 representen el 0,4 % del total. Existeixen dotze famílies, dos-cents gèneres i aproximadament mil espècies. Les principals famílies que tenen espècies amb aquest metabolisme són les boraginàcies, les ciperàcies, les compostes i les gramínies. El fet que no s'observa fotosín-

tesi C_4 en algues, briòfits, gimnospermes i angiospermes primitives fa pensar que aquest metabolisme és d'aparició posterior al C_3 .

3.4. *Fotosíntesi CAM (metabolisme àcid de les crassulàcies)*

Les plantes CAM són pròpies de climes càlids i generalment són plantes suculentas (Kluge i Ting, 1978) que emmagatzemen aigua en els seus teixits. En la fotosíntesi CAM, la captació del CO_2 i la biosíntesi d'hidrats de carboni es troben separades en el temps: nit i dia. Les plantes obren els estomes durant la nit i la captació de CO_2 forma àcid màlic, que s'acumula en els vacúols. Durant el dia és alliberat al citoplasma, es descarboxila i el CO_2 entra en el cicle de Calvin, és a dir, fent la ruta metabòlica C_3 .

Una característica important de les plantes CAM és que realitzen la ruta C_3 , quan les condicions ambientals són adequades. La fotosíntesi CAM queda limitada per la capacitat d'emmagatzematge dels vacúols. És per aquest motiu que a vegades s'expressa el metabolisme C_3 quan l'obertura dels estomes en condicions de llum encara és possible, com ho és al capvespre, i quan la temperatura és menys elevada. En conseqüència, les plantes CAM són essencialment adaptatives. Existeixen plantes que actuen amb metabolisme CAM durant algunes èpoques de l'any i com a C_3 en altres. Un exemple en són les pites (*Agave* sp.), que presenten metabolisme C_3 en climes més uniformes i CAM en zones climàtiques amb altes temperatures durant el dia i baixes durant la nit. Les plantes CAM presenten modificacions estructurals. Generalment, tenen cutícules gruixudes i impermeables, epidermis amb grans cambres d'aire, estomes protegits del vent; en definitiva, es tracta de reduir el procés

de transpiració. Amb tot, el resultat és que són plantes de creixement molt lent i, per tant, representen només avantatges en aquells ambients on la productivitat de les altres queda limitada per la magnitud de la fotorespiració i la temperatura elevada.

Se'n coneixen vint-i-sis famílies, més de dos-cents gèneres i més de mil espècies. Probablement n'hi ha uns quants milers més perquè algunes famílies tenen tots els seus representants amb aquest metabolisme. Entre aquestes famílies destaquen les euforbiàcies, les cactàcies, les crassulàcies... Hi ha famílies que inclouen espècies amb metabolisme C_3 i C_4 . Totes tenen un origen tropical o subtropical i són de condicions més aviat àrides. Això fa suposar que el metabolisme CAM és un exemple d'evolució convergent d'adaptació a les condicions ambientals.

3.5. *Fotosíntesi: adaptació de les plantes al medi*

De tot el fins aquí esmentat, es pot deduir que tant el metabolisme CAM com el C_4 semblen que són successos evolutius relativament recents.

Gil (1995) va postular que es pot establir una successió aproximada de tendències evolutives seleccionades per les modificacions ambientals respecte del carboni. El cicle C_3 basat en la carboxilació de la RuDP i la seva regeneració cíclica es pot considerar la base fonamental de l'autotròfia pel C. El cicle C_3 probablement es va produir de manera fàcil en el moment que els primers organismes fermentats es van trobar limitats per la reducció de l'existència de compostos de carboni reduïts abiòtics. De fet, el cicle de Calvin només va necessitar l'adquisició de dos enzims: fosforibulokinasa i Rubisco (Gil, 1995). Aquest fet va solucionar els problemes d'assimilació de carboni i la seva reducció tant

pel que fa als organismes quimiolitòtrofs com als fotosintètics (figura 1).

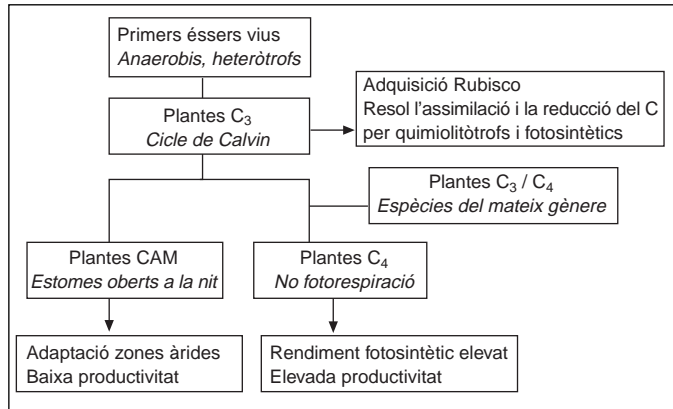


FIGURA 1. Fotosíntesi: adaptació de les plantes al medi.

212

Probablement l'estructura de l'enzim Rubisco era com l'actual i amb la doble funció. Però l'activitat d'oxigenasa en un principi no es devia expressar per l'absència d'oxigen en l'atmosfera. Al llarg del temps per la mateixa activitat fotosintètica es va començar a produir competència entre O_2 i CO_2 fins a arribar a la relació actual 630:1, cosa que va produir una reducció del rendiment de la fotosíntesi.

El metabolisme CAM sembla que és més primitiu que el C_4 perquè es troba entre pteridòfits, gimnospermes i angiospermes, mentre que el C_4 només es troba en angiospermes d'aparició més recent.

Tot i que alguns autors consideren el metabolisme CAM intermedi entre el C_3 i el C_4 , sembla que deriven d'una evolució paral·lela (Gil, 1995) (figura 1).

L'evolució del metabolisme C_4 és conseqüència de la temperatura i de la intensitat lumínica elevades i el dèficit hídric associat en aquestes condicions. Es considera que la

seva evolució es va iniciar amb l'aparició de l'anatomia *kranz* amb dos tipus de cèl·lules similars que tenien Rubisco i, al llarg del temps, va anar desapareixent del mesòfil juntament amb altres canvis enzimàtics.

Les plantes C_4 , en condicions ambientals poc favorables, presenten un creixement i una productivitat molt baixes. Quan es troben en àrees tropicals o subtropicals amb temperatura i radiació elevades, són molt productives, la qual cosa pot explicar que no romanguin en altres ambients. Aquest fet es veu quan se n'analitza la distribució geogràfica (figura 2). Les plantes C_3 presenten més capacitat d'adaptació en hàbitats de temperatura baixa, amb la qual cosa es troben per sobre els 45° de latitud, mentre que les C_4 es troben per sota. En latituds mitjanes, les C_4 són molt més productives a l'estiu, mentre que les C_3 ho són a la primavera i la tardor. També hi ha relació amb l'altura sobre el nivell del mar, de manera que les CAM són les que es troben a nivell

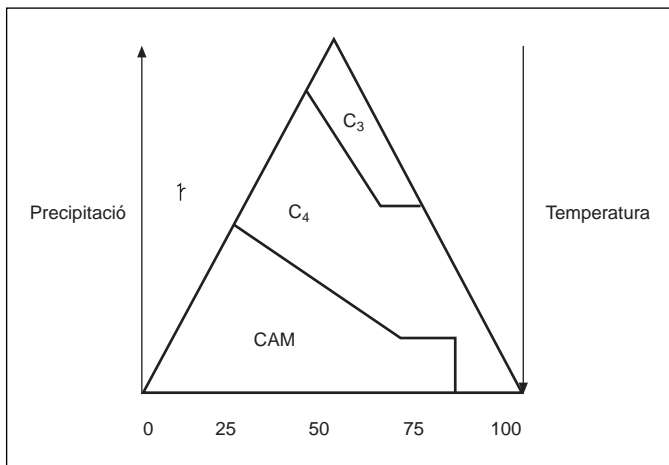


FIGURA 2. Distribució d'espècies segons el seu metabolisme fotosintètic. Gradient d'altura, precipitació i temperatura. FONT: Gil (1995).

més basal; a continuació, hi ha les C₄, i, a les cotes superiors, les C₃ (Gil, 1995).

Finalment, cal indicar que l'actual augment de la concentració de CO₂ com a conseqüència de l'activitat humana produeix cada vegada més una resposta a les plantes que tendeix a un major creixement i productivitat (Llebot, 1997). Les plantes C₃ en resulten molt beneficiades pel fet de la disminució de la fotorespiració i l'augment de la carboxilació, la qual cosa podria fer desaparèixer els metabolismes C₄ i CAM. Però cal considerar també l'augment progressiu de la temperatura i el consegüent augment de l'aridesa, que podria actuar en favor del millor balanç hídric que presenten aquests dos metabolismes fotosintètics.

4. RENDIMENT ENERGÈTIC I PRODUCCIÓ PRIMÀRIA DE LA VEGETACIÓ

El procés fotosintètic necessita 2,25 kcal per gram de diòxid de carboni assimilat. La utilització de la radiació per la fotosíntesi pot arribar en fulles aïllades i condicions ambientals òptimes a uns valors de rendiment fotosintètic aproximadament del 15% en plantes C₃ i fins a un 24% en les C₄. Tot i això, en general les fulles treballen entre 0-5%.

Les comunitats vegetals durant el període de producció treballen amb un grau de rendiment en general per sota del 2-3%. A la taula 1 es pot observar el rendiment de la fotosíntesi en el món. Les comunitats vegetals amb major rendiment són els boscos tropicals i els planifolis. Les prades i les pastures contribueixen amb una quantitat relativament petita al total del carboni si els comparem amb les regions boscoses.

Els cultius presenten com a valor mitjà el 0,60%. Cal indicar que alguns conreus intensius poden presentar un ren-

diment molt més elevat, com és el cas de l'arròs, que pot arribar al 6%. Les pràctiques agrícoles i el maneig dels boscos poden tenir un efecte significatiu sobre el cicle global del carboni. Els sòls agrícoles han perdut aproximadament la tercera part del seu carboni original. Llaurar la terra incrementa l'activitat microbiana del sòl i el converteix més ràpidament en diòxid de carboni. L'agricultura, fent ús de pràctiques alternatives de cultiu i reduint l'ús de fertilitzants químics, pot contribuir a disminuir la concentració de diòxid de carboni de l'atmosfera i afavorir, així, que quedi més carboni al sòl.

TAULA 1. *Rendiment energètic de la vegetació*

	<i>Energia química</i> <i>kcal m⁻² any⁻¹</i>	<i>Radiació aprofitable</i> <i>kcal 10⁻³ m⁻² any⁻¹</i>	<i>Eficiència</i> <i>(%)</i>
Boscos planifolis	4.600	440	1,0
Vegetació escleròfila	3.900	600	0,65
B. tropicals humits	8.200	560	1,5
Bosc boreal	2.400	320	0,75
Tundra	600	240	0,25
Deserts	300	720	0,04
Conreus	2.700	440	0,60
Pastures tropicals	2.800	560	0,50
Pastures temperades	2.000	400	0,50
Oceans	2.200	480	0,47

FONT: Larcher (1977) i Houghton (1995).

Segons els càlculs de diferents autors (Lieth, 1972; Houghton, 1995), en tota la Terra les plantes fixen anualment $151,0 \cdot 10^9$ tones de carboni, de les quals el 61% corresponen a terra ferma i el 39% restant, a les aigües. Lògicament, si el rendiment fotosintètic és molt baix, una producció primària elevada només es donarà quan hi hagi una combinació de factors ambientals òptims —temperatura, radiació, aigua i nutrients minerals. Aquesta combinació la trobem en la zona tropical (taula 2).

TAULA 2. *Producció primària de la Terra*

	<i>Superfície (10⁶ ha)</i>	<i>Carboni Tones ha⁻¹ any⁻¹</i>	<i>Carboni Tones 10⁹ any⁻¹</i>
Boscos caducifolis	700	4-25	7,0
Boscos mixtos (total)	650	2,5-25	6,2
B. tropicals humits	1.700	10-35	34,0
Boscos verds humits	750	6-35	11,3
Bosc boreal	1.200	2-15	6,0
Total	5.000		64,5
Estepes i tundra	2.600	0,1-2,5	2,4
Deserts	2.400	0,-0,1	—
Conreus	1.400	1-40	9,1
Prats i pastures	2.400	1-20	15,0
Aigües continentals	400	1-40	5,0
Total	9.200		31,5
Oceans	36.100	5-40	55,0
Total Terra	50.300		151,0

Font: Lieth (1972) i Houghton (1995).

Estudis recents a escala regional (Ramakrishna, 2003) indiquen que la producció primària neta (PPN) ha augmentat considerablement (6,17 %) els darrers vint anys en latituds mitjanes i altes de l'hemisferi nord i dels tròpics a causa de l'augment de la temperatura i de la radiació. Cal tenir en compte, però, que són evidències detectades en àrees localitzades, no a escala global.

5. PRODUCCIÓ PRIMÀRIA I PRODUCCIÓ D'ALIMENTS

5.1. *Producció primària i cadena tròfica*

L'eficiència energètica de la producció primària és baixa i també segueixen tenint una eficiència baixa els fluxos d'energia entre els diferents nivells tròfics. En una cadena tròfica natural, de les plantes als herbívors i als carnívors, l'eficièn-

cia es troba al voltant del 10%. Com més nivells de consumidors hi ha al llarg d'una cadena tròfica, menys proporció de la producció primària arriba als darrers nivells. El 90% restant s'inverteix en el funcionament dels organismes implicats (Ros, 1994).

5.2. Producció primària i producció d'aliments

En una explotació agrícola intensiva es poden obtenir valors de productivitat primària molt més elevats dels que s'obtidrien en una comunitat vegetal natural en les mateixes condicions ambientals. Això es deu a l'aportació d'energia externa per part de l'home: maquinària, combustible, adobs, fitosanitaris, etc. A la taula 3 es pot observar la diferència dels paràmetres de producció d'un conreu d'arròs intensiu i un conreu tradicional. Amb l'aportació d'energia externa es pot augmentar molt la producció per tal d'obtenir una font considerable d'aliments directament aprofitables per l'home, però el que no es pot augmentar és l'eficiència.

217

TAULA 3. *Energia necessària per a la producció d'arròs*

	<i>Agricultura intensiva</i>	<i>Agricultura tradicional</i>
Consum total d'energia (kcal · 10 ³ /ha) (C)	64.648	172,0
Rendiment (kg/ha)	5.800	1.250
Rendiment (kcal/ha) (R)	21 · 10 ⁻⁶	4,5 · 10 ⁻⁶
Eficiència (R/C)	0,32	26

FONT: FAO (1970), modificat per Ros (1995).

Tot i això, cal assenyalar que l'eficiència d'aquests cultius no arriba als valors que podrien ser possibles pel fet que no sempre es tenen en compte les condicions climàtiques de l'àrea de conreu, les característiques del sòl i les espècies i varietats adients.

En el cas de la producció ramadera, també hi ha gran diferència entre la producció intensiva i l'extensiva. Per posar-ne un exemple, amb $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$ d'herba de pastures naturals obtindríem 100 kg de carn de xai. En el cas de la producció intensiva, necessitaríem 3 kg de gra de cereal per obtenir 1 kg de carn de pollastre, 5 kg per 1 kg de carn de vedella i 7 kg per 1 kg de carn de porc. A més, s'ha de tenir en compte la despesa energètica que suposa l'ús de productes farmacològics per combatre les malalties parasitàries i infeccioses dels animals criats en règim d'estabulació.

Actualment, per tant, es poden aconseguir rendiments elevats de producció tant pel que fa a les espècies vegetals com les animals, però s'ha de tenir en compte que aquest fet està relacionat amb l'ús d'un petit nombre d'espècies i varietats i amb l'aportació d'energia extra.

Finalment, caldria dir, i tornant a l'inici, que les plantes verdes constitueixen la base de la vida sobre la Terra perquè tenen la capacitat de produir matèria orgànica, que constitueix l'aliment dels animals i de l'home a partir de l'energia radiant del Sol, el foc com a font de vida.

BIBLIOGRAFIA

- BASSHAM, J. A.; CALVIN, M. (1957). *The path of carbon in photosynthesis*. Indianapolis: Englewood Cliffs. Prentice Hall.
- CALVIN, M. (1962). «The path of carbon in photosynthesis (nobel prize lecture)». *Science*, núm. 135, p. 879-889.
- CATLING, D.; ZAHNLE, K.; MCKAY, C. (2001). «Biogenic nothane, hydrogen escape, and the irreversible oxidation of early earth». *Science*, núm. 293, p. 839-843.
- DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W. A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. Nova York: John Wiley and Sons.

- GIL, F. (1995). *Elementos de fisiología vegetal*. Madrid: Mundi-Prensa.
- HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (1996). *Climate Change 1995*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KLUGE, M.; TING, I. P. (1978). *Crassulacean acid metabolism*. Heidelberg: Springer Verlag.
- LARCHER, W. (1980). *Physiological plant ecology*. Berlín: Springer Verlag.
- LIETH, H. (1972). «Phenology in productive studies». A: RICHLE, D. [ed.]. *Analysis of temperate forest ecosystems*. Berlín: Springer.
- LLEBOT, J. E. (1997). *El canvi climàtic*. Barcelona: Rubes.
- RAMAKRISHMA, R. (2003). *Science*, núm. 300 (5626), p. 1560-1562.
- ROS, J. (1994). «Homo energeticus». *Medi Ambient*, núm. 10, p. 6-15.
- SCHOPE, J. W. (1999). *Cradle of life: The discovery of earth's earliest fossils*. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

