

CULTIU DE MICROALGUES A L'AIRE LLIURE: POSSIBILITATS, PROBLEMES I PERSPECTIVES

Josep PEÑUELAS i REIXACH
*Departament d'Ecologia de la Facultat de Biologia
de la Universitat de Barcelona*

RESUM

Es dona una visió general de l'obtenció de biomassa microalgal a l'aire lliure, de les seves possibilitats en els camps de l'alimentació, la indústria, la depuració d'aigües residuals i l'energia, i dels problemes a solucio-

nar per fer-les realitat de manera rendible. S'arriba a la conclusió que ens els moments actuals només és prometedora la seva obtenció de manera colateral a altres processos i la seva explotació multiús.

RESUMEN

Se da una visión general del estado actual del cultivo de microalgas al aire libre. Se estudian las posibles aplicaciones, especialmente en los campos de la alimentación, la industria, la energía y el tratamiento de las aguas residuales. Se presenta una serie importante de problemas, para solventar los

cuales se han de solucionar las cuestiones que se citan. Finalmente, se llega a la conclusión de que, a corto plazo, sólo es rentable la explotación multiuso del producto algal, o la obtención del mismo como producto colateral a otros.

ABSTRACT

A general account of obtention and possibilities of algae biomass is given, specially on food, industry, energy and wastewater treatment. There are some problems that must be overcome. They are listed with a series of studies and works that must be un-

detaken. It is concluded that nowadays the most promising perspectives in microalgae production are those cases in which the algae are obtained as byproducts, or those others in which they are cultured with a multipurpose finality.

INTRODUCCIÓ

En l'actualitat se'ns presenten una sèrie de raons ben evidents —la limitació de les terres conreables, l'augment de les necessitats de matèries primeres per a la indústria i l'alimentació (FAO 1963), el creixement de la població i la manca i l'elevat preu dels derivats del petroli— que fan pensar en la necessitat de noves fonts agrícoles i energètiques. És en aquest punt que la nostra mirada s'adreça a les possibilitats que presenta l'obtenció de biomassa microalgal.

L'any 1953, apareix el document de l'Institut Carnegie, de Washington, «Algal Culture from Laboratory to Pilot Plant», que

resumeix molt del que s'havia fet sobre cultiu algal a gran escala. La major part del treball es referia a les propietats terapèutiques i toxicològiques, però ja s'hi preveia el gran potencial de les algues com a font de matèries primeres i d'energia. D'aleshores ençà, s'han fet nombrosíssims treballs sobre el tema, principalment a USA, Alemanya, Israel, el Japó, Mèxic i l'Índia.

Amb aquest treball es pretén donar una visió general sobre tots ells i posar les bases, mitjançant la bibliografia, per a estudis més profunds.

TECNOLOGIA

Les microalgues constitueixen una màquina fotosintètica molt eficient, que converteix l'energia solar en biomassa. Creixen en qualsevol medi aquàtic on hi hagi nutrients, fonts de carboni i llum, i dintre un marge adequat de temperatura.

Hi ha dos tipus de cultius: un en recintes tancats en condicions anàlogues als fermentadors industrials —en aquest cas, el producte es dedica al consum humà, la qual cosa justifica l'elevat cost de la producció (Kawaguchi, 1980; Soong, 1980)—, i l'altre, a l'aire

lliure, que s'assembla en molts aspectes als cultius agrícoles tradicionals. El primer tipus utilitza una metodologia ben coneguda a la indústria microbiològica. El segon, que és el que centra l'interès d'aquest escrit, es porta a terme en canals equipats amb sistemes de circulació del medi de cultiu. Segons el tipus de medi que s'utilitza es distingeixen dos sistemes:

a) Sistema d'aigües netes. S'hi afageixen substrats minerals en concentracions controlades i, per tant, definides. En aquest siste-

ma, els bacteris no tenen una importància significativa.

b) Sistema d'aigües residuals (municipals, ramaderes...). Els substrats no estan tan ben definits ni controlats. Aquí el cultiu és mixt, d'algues i bacteris (Fig. 1).

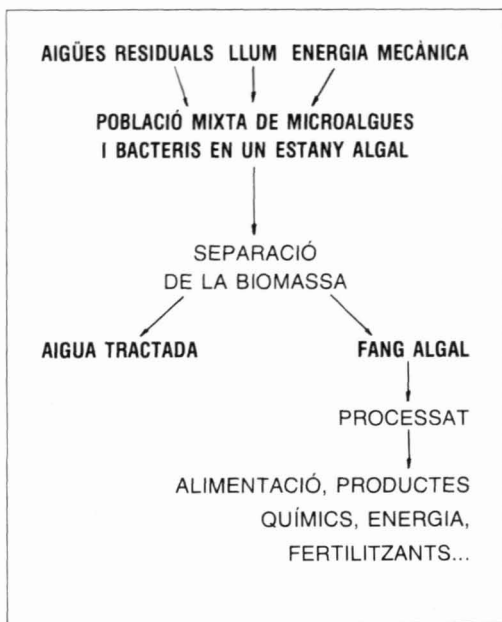


Fig. 1

Les diferències entre ambdós sistemes es dedueixen fàcilment, però hi ha un punt que cal remarcar: la font de carboni. En els cultius nets i autotròfics, que no tenen substrats orgànics, s'ha d'afegir CO_2 o HCO_3 , la qual cosa eleva el cost de producció en gran manera.

Una vegada han crescut, les microalgues es recol·lecten. S'utilitzen diferents mètodes, tots ells amb problemes d'aplicació, sigui per l'excés requeriment d'energia (centrifugació) o per la minsa eficàcia (flotació, filtració, sedimentació...).

Per últim es fa el processament fins a pols seca de les algues soles o barrejades amb altres ingredients, com cereals, saboritzants... o de la manera que convingui al fi que es persegueix.

Quan les condicions són favorables, s'obtenen de 15 a 30 $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Soeder 1978) i fins 45 $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Shelef & Soeder 1980). Aquesta producció correspon a 55-110 Tm de matèria seca per Ha i any, la qual cosa representa una eficàcia de 1.8 - 3.6 % de la irradiació solar total, és a dir, comparable a la dels cultius més productius de plantes C4 com la canya de sucre o el sorgo, i amb moltes més proteïnes i lípids que aquestes, en les quals predominen els carbohidrats, la cel·lulosa i les lignines.

USOS I POSSIBILITATS

Dubinsky i Aaronson (1982) han fet una completa revisió dels usos de la biomassa microalgal. Aquí es presenta un resum dels més interessants, que agrupem en quatre grans blocs:

Alimentació

Ja antigament s'havien utilitzat les microalgues com a aliment humà. En l'actua-

litat es menja *Spirulina*, quan els altres aliments són escassos, a l'àrea del llac Txad; a l'Índia es consumeix *Lemanea manillosa* fregida, i al Japó i a Taiwan *Chorella* com a producte de salut (Kawaguchi 1980). En els darrers decennis s'havia pensat ampliar aquest ús, ara gairebé anecdòtic en el context del consum humà mundial, però no s'han resolt els problemes de toxicitat (Car-

michael 1981), costums alimentàries adverses i cost elevat (Soeder 1980; Yannai *et al.* 1979).

En l'alimentació animal hi trobem millors perspectives, ja que es poden utilitzar aigües residuals com a medi de cultiu, amb menys recança que quan les algues es destinen al consum humà directe. Això disminueix el cost, alhora que depura les aigües. De totes maneres, malgrat que el seu valor proteic és superior al de les altres plantes, presenten problemes com són l'elevat percentatge d'àcids nucleics que obliguen a reduir la seva proporció en les barreges alimentàries sempre a menys del 25 % (Mokady *et al.* 1980; Walz & Brune 1980). Amb això es poden reemplaçar altres fonts proteiques més cares com el peix o la soja. Cal assenyalar, però, que l'únic lloc que coneixem en què s'hagin cultivat microalgues a gran escala amb el propòsit de dedicar-les al consum animal és a la República Socialista Soviètica de Usbek. Als altres llocs estan en una fase experimental (De Pauw 1981; Becker 1980, o bé la finalitat principal dels seus esforços és el tractament de les aigües residuals (Orwald *et al.* 1978; Koopman 1980).

Dintre d'aquest apartat, mereix esment especial l'aquacultura en la qual la biomassa microalgal té una aplicació molt immediata com a aliment natural de peixos i mariscs (Edwards 1980; Sandbank 1980; Persoone & Claus 1980; Ukeless 1980; De Pauw 1981).

Indústria química, alimentària i farmacèutica

En aquest camp, les possibilitats són elevades, i ho seran més a mesura que les altres fonts naturals de matèries primeres s'esgotin o es destrueixin per la pol·lució. Això és així perquè les microalgues es poden convertir, convenientment cultivades, en font de fertilitzants —per la seva capacitat de fixar

Nitrogen (Benemann *et al.* 1977)—; de condicionadors del sòl —perquè augmenten la capacitat aquosa; de lípids i olis diversos per a tensiactius, plastificants, cosmètics... (Dubinsky *et al.* 1978; Materasi *et al.* 1980); de substàncies volàtils com àcids orgànics, alcohols, aldehids, terpens fenols, amines... (Katayama 1962); d'antibiòtics i altres productes farmacèutics (Dubinsky i Aaronson 1982; Graf & Baier 1981); de vitamines, antioxidants, colorants, saboritzants, aminoàcids... (Aaronson *et al.* 1980).

Tractament d'aigües residuals

Quan s'utilitzen aquestes aigües com a medi de cultiu s'assoleix la seva depuració en diferent grau segons el tipus de tractament. Per tant, s'obté un benefici doble. S'està treballant molt en aquesta aplicació a Califòrnia (Koopman 1980; Benemann 1980) i a Israel (Shelef 1980; Oron & Shelef 1980) amb resultats prometedors.

Hi ha també la possibilitat d'utilitzar les microalgues com a trampes acumuladores de substàncies tòxiques o pol·lucionants (Geyer *et al.* 1981).

Altres aplicacions

També s'havia pensat d'utilitzar-les com a components centrals de sistemes de bioregeneració d'oxigen i com a aliment en les missions espacials (Miller & Ward 1966), però s'ha deixat de banda i s'han substituït per sistemes abiòtics, per raons de fiabilitat.

Finalment, de moment no sembla molt factible la utilització de la biomassa microalgal com a font immediata d'energia (Oswald & Benemann) per raons econòmiques i d'espai i quantitat de medi. Així ho semblen indicar també els treballs que es duen a terme al nostre país en aquesta matèria (Pijoan 1982).

PROBLEMES I QÜESTIONS A SOLUCIONAR

El principal, sens dubte, és l'econòmic. A causa d'aquest, la majoria de les possibilitats apuntades no s'han materialitzat. Es calcula que tan sols la construcció d'1Ha d'estany de cultiu val 10 milions de pessetes (Soeder 1978; Benemann *et al.* 1980). Per altra banda, les subvencions dels organismes oficials arreu del món no han estat gaire esplèndides en aquest camp (Oswald 1980).

Altres tres problemes importants encara no resolts són:

1. La presència de depredadors i paràsits (Grobbehaar 1981): Actinomycetes, *Daphnia*, *Cyclops* i Rotífera, que són incontrolables si no s'utilitzen plaguicides, cosa totalment indesitjable, perquè s'incorporen al producte. Només se salven d'aquest problema els cultius en condicions extremes com el de *Spirulina* en aigües alcalines (Santillan 1982), o el de *Dunaliella salina* en aigües hipersalines (Borowitzka *et al.* 1977; Ben Amotz & Avron 1982; Peñuelas 1982), que permeten el seu creixement i no el d'altres organismes.

2. El subministrament de nutrients a gran escala. Le aigües residuals són difícils de controlar i contenen substàncies tòxiques i organismes patògens. Les aigües netes amb nu-

trients minerals són cares i a més els contaminants dels productes comercials i de l'aigua són acumulats per les algues (Payer *et al.* 1980; Yannai *et al.* 1980).

3. La recol·lecció, que es fa per centrifugació, sedimentació o flotació, i que continua essent molt costosa (Mohn 1978; Benemann *et al.* 1980).

Per tant, hi ha una sèrie de qüestions, l'estudi de les quals s'ha d'emprendre per tal d'assolir la materialització de les possibilitats estudiades:

a) Optimar els paràmetres del sistema de cultiu per tal d'incrementar la producció algal al màxim.

b) Millorar el control de les espècies algals desitjables (Van Veuren & Grobbehaar, 1982) per tal d'obtenir productes uniformes i de recol·lecció més fàcil.

c) Millorar les tècniques de recollida, separació, secatge i processament, especialment en el que fa referència al cost.

d) Estudiar detalladament cadascuna de les possibles aplicacions amb els seus pros i els seus contres.

e) Muntar sistemes a gran escala per a estudiar i optimitzar els paràmetres d'una manera més real i aplicada.

CONCLUSIONS

El desenvolupament futur i la realització de les possibles aplicacions depenen de la solució d'aquests problemes. Caldria no oblidar-ho a mesura que s'esgoten les fonts de matèries primeres a la Terra.

A curt termini, la producció microalgal a l'aire lliure es presenta prometedora només en dos casos:

a) Quan les algues s'obtenen com a pro-

ductes secundaris o colaterals d'altres processos, com *Spirulina* en la producció de carbonats, a Mèxic (Durand-Chastel 1980; Santillán 1982), o com a Israel, Califòrnia i l'Índia en el tractament d'aigües residuals i de sucus animals (Koopman *et al.* 1980; Shelef *et al.* 1980); Venkataraman *et al.* 1982).

b) Quan es fa una explotació multiús de la biomassa, com en el cas de *Dunaliella sa-*

lina, de la qual s'extreuen glicerol, lípids, B-Caroté i proteïnes (Gibbs & Duffus 1976;

Borowitzk *et al.* 1977; Ben Amots & Avron 1981; 1982; Roche 1982; Peñuelas 1982).

BIBLIOGRAFIA

- AARONSON, S.; T. BERNER; & Z. DUBINSKY. 1980. «Microalgae as a source of Chemicals and Nature products» en *The production and use of microalgal biomass*, G. Shelef, C.J., Soeder and M. Balaban, eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press, Amsterdam (1980).
- AARONSON, S. (1980), *Chemical communication at the microbial level*, CRC Press, Boca Raton, Fl.
- BECKER E.W & L.V. VENKATARAMAN (1980), «Production and processing of algae in pilot plant scale: experiences of the indogerman project» en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press, Amsterdam.
- BEN AMOTZ, A. & M. AVRON (1981), «Glycerol and B-Carotene metabolism in the halotolerant alga *Dunaliella*: a model system for biosolar energy conversion», *Trends in Biochem. Sci.*, 6, 11: 297-299.
- BEN AMOTZ, A. & M. AVRON (1982), «The potential use of *Dunaliella* for the production of glycerol, B-carotene and high protein feed» en *Biosaline Research: A look to the future*, Plenum Publishing Corporation, 207-214.
- BENEMANN, J.R.; KOOPMAN, B.; WEISSMAN, J., & OSWALD, W.J., (1977), «Energy production by Microbial Photosynthesis», en *Microbial Energy Conversion*, Schegel & Barnea, eds, Pergamon Press, Oxford, pg. 399-412.
- BENEMANN, J.; KOOPMAN, B.; WEISSMAN, J.; EISENBERG, D., & GOOBEL, R. (1980). «Development of microalgae harvesting and high rate pond technologies in California», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press, Amsterdam..
- BEREND, J.; SIMOVITCH E. & OLLIAMPH, A. (1980), «Economic aspects of algal animal food production» en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds. Elsevier / North Holland Biomedical Press, Amsterdam, pgs. 800-818.
- BOROWITZKA, L.J.; KESSLY, D.S., & BROWN, A.D. (1977), «The salt relations of *Dunaliella*. Further observations on glycerol production and its regulation», *Arch. Microbiol.* 113: 131-138.
- CARMICHAEL, W.W. (1981), «Freshwater observations on Blue-Green algae toxins. A review» en *The water environment: algal toxins in health*, Plenum Publishing Corporation 1981, pgs. 1-13.
- DE PAUW, N. (1981), «Use and production of microalgae as food for nursery bivalves», en *Nursery Culturing of Bivalve Molluscs. European Mariculture Society special publication*, núm. 7; 35-68.
- DE PAUW, N. & VAERENBERCH, E.V. (1981), «Microalgal wastewater treatment systems: potentials and limits» en *Conference Phytodepuration and Employment of the Biomass Produced*. Univ. of Parma, Italy, May 15-16, 1981.
- DUBINSKY, Z.; BERNER, T., & AARONSON, S. (1978), «Potential of large scale algal culture for biomass and lipid production in arid lands», *Biotechn. Bioengin. Symp.* 8: 51-68.
- DUBINSKY, Z. AARONSON, S. (1982), «Review of the potential uses of Microalgae» en *Biosaline Research: a look to the future*. Plenum Publishing Corporation.
- DURAND-CHASTEL, H. (1980), «Production and use of *Spirulina* in Mexico» en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- EDWARDS, P. (1980), «The production of microalgae on human wastes and their harvest by herbivorous fish», en *Algae Biomass*, Elsevier / North Holland Biomedical Press, pgs. 191-203.
- FAO, Third World Food Survey, Freedom from Hunger Campaign Basic Study, Roma, 1963, vol. 11.
- GEYER, H.; VISWANATHAN, R.; FREITAG, D., & KORTE, F., (1981), «Relationship between water solubility of organic chemicals and their bioac-

- cumulation by the alga *Chorella*», *Chemosphere* 10, 12: 1307-1313.
- GIBBS, N. & DUFFUS, C.M. (1976), «Natural protoplast *Dunaliella* as a source of protein», *Appl. Environ. Microbiol.* 31, 4: 602-604.
- GRAF, W. & BAIER, W. (1981), «Hygienische und mikrobiologische Beeinflussung natürlicher Gewässerbiotipe durch Algen und Wasserpflanzenaufwuchs. 1. Mitteilung: Antibakterielle Eigenschaften dreier Gewässeralgeln (*Hydrodictyon reticulatum*, *Chlorella vulgaris*, *Aphanothece nidulans*) in vitro», *Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig.*, B. 174, 421-442.
- GROBBELAAR, J.V. (1981), «Infections; Experiences in miniponds», *U.O.F.S. Publ. Series C*, 3: 116-123.
- KATAYAMA, T. (1962) «Volatile constituents» en *Physiology and Biochemistry of Algae*, Lewin ed., Academic Press, N.Y., pgs. 467-473.
- KAWAGUCHI K. (1980), «Microalgae production system in Asia» en *Algae Biomass* Shelef & Soeder eds. Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- KOOPMAN, B.L., BENEMANN, J.R., & OSWALD, W.J. (1980), «Pond isolation and phase isolation for control of suspended solids concentration in sewage oxidation pond effluents» en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- MATERASI, R.; PAOLETTI, C.; BALLONI, W., & FLORENZANO, G. (1980), «Some considerations on the production of lipid substances by microalgae and Cyanobacteria», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder, eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- MILLER, R.L. & WARD, C.H. (1966), «Algal bioregenerative systems» SAM-TR-66-11 U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, TX.
- MOKADY, S.; YANNAI, S.; EINAV, P., & BERK, Z. «Protein nutritive value of several microalgal species for young chickens and rats» en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- MOHN, F.H. (1978), «Improved technologies for the harvesting and processing of microalgae and their impact in production costs», *Arch. Hydrobiol. Beih.* 11: 228-253.
- ORON, G & SHELEF, G. (1980), «An optimization model for high rate algae ponds», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- OSWALD, W.J.; LEE, E.W.; ADAN, B., & YAO, K.H. (1978), «Nuevo método de tratamiento de aguas residuales, con obtención de cosechas rentables en algas», *Crónica de la OMS*, 32: 384-386.
- OSWALD, W.J. (1980), «Algal Production - Problems, Achievements and Potential», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- OSWALD, W.J. & BENEMANN, J.R. (1977), «A critical analysis of Bioconversion with Microalgae, en *Biological Solar Conversion*, Mitsui, Miyachi, San Pietro & Tamura eds., Academic Press New York, pgs. 379-398.
- PAYER, H.D. PABST, W., & RUNKEL K.H. (1980), «Review of the nutritional and toxicological properties of the green *Scenedesmus obliquus* as a single cell protein», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder, Elsevier / North Holland Biomedical Press, pgs. 781-796.
- PEÑUELAS, J. (1982), «*Dunaliella salina*: Biología i Producció», *Informe GOOSEN SA*.
- PERSOONE, G. & CLAUS, C. (1980), «Mass culture of algae: a bottleneck in the nursery culturing of Molluscs», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder, Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- PIJOAN, M. (1982), Comunicació personal.
- ROCHE, (1982), «Algal biology operation at Hutt Lagoon WA» (comunicació personal de L. Borowitzka, director del projecte).
- SANDBACK, E. (1980), «Microalgae grown in wastewater as an ingredient in the diet of warmwater fish», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press, pgs. 697-706.
- SANTILLAN, C. (1982), «Mass production of *Spirulina*», *Experientia*, 38; 40-43.
- SHELEF, G.; AZOV, Y.; MORAINE, R., & ORON, G. (1980) «Algal mass production as an integral part of a wastewater treatment and reclamation system», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- SHELEF, G. & SOEDER, C.J. (1980), *Algae Biomass* Elsevier / North Holland Biomedical Press.

- SOEDER, C.J. (1978), «Economic considerations concerning the autotrophic production of microalgae at the technical scale», en *Microalgae for food and feed*, Soder & Binsack eds., *Ergebn. Limnoll.* 11: 259-273.
- SOEDER, C.J. (1980), «The scope of microalgae for food and feed», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- SOONG, P., (1980), «Production and development of *Chlorella* and *Spirulina* in Taiwan», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- UKELESS, R. (1980), «American experience in the mass culture of microalgae for feeding larvae of the american oyster. *Crassostera virginica*», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press.
- VAN VUREN, M.M.J. & GROBBELAAR, J.V., (1982), «Selection of algal species for use in open outdoor mas cultures», *Water SA* 8, 2: 89-91.
- VENKATARAMAN, L.V.; DEVI, K.M.; MAHA-DEMASWAMY, M., & KUMHI, A.M. (1982), «Utilization of rural wastewater for algal biomass production with *Scenedesmus acutus* and *Spirulina pratensis* in India», *Agricultural Wastes* 4: 117-130.
- WALZ, O.P. & BRUNE, H. (1980), «Studies on some nutritive effects of the green algae *Scenedesmus acutus* with pigs and broilers», en *Algae Biomass*, Shelef & Soeder eds., Elsevier / North Holland Biomedical Press. pgs. 733-744.
- YANNAI, S.; MOKADY, S.; SACHI, K.; KANTOROWITZ, B., & BERK, Z., (1979), «Secondary toxicology and contaminants of Algae Grown on Wastewater», *Nutrition Reports International*, 19, 3: 391-400.