

# Llaurant la mar..

## L'aqüicultura i el repte dels 10<sup>10</sup> humans

**RESUM:** *La població mundial s'ha duplicat en el decurs de l'última generació i es preveu que, en quaranta o cinquanta anys, s'estabilitzarà entre nou mil i deu mil milions d'individus. Mantenir vives, sanes, dignes i educades aquestes persones és el repte més important de la tècnica al segle XXI.*

*En el cas concret de l'alimentació, el problema és aconseguir d'una manera sostenible que els aliments de la població esperada siguin variats i de qualitat, suficientment rics en proteïnes animals. Per cobrir les necessitats de proteïna animal d'una població de deu mil milions de persones caldria un increment d'àrees de conreu, que tindria, necessàriament, un impacte important en el medi natural.*

*La recerca aplicada a l'aprofitament de la gran capacitat de producció primària del fitoplàncton del mar pot fer-lo esdevenir una eina fonamental en la consecució d'aliments per a aquesta població, i en concret de proteïnes animals tant d'origen terrestre com marítim, d'una manera sostenible, i amb una varietat i qualitat superiors a les d'avui en dia.*

**SUMMARY:** *The world population has been doubled during the last generation. It is foreseen that it will be stabilised in 40 or 50 years in between 9.000 and 10.000 million inhabitants. To keep this population alive, healthy, proper and educated is the main challenge of the technique at the XXI century.*

*In the particular case of food, the problem is to obtain varied and high quality aliments for these people, with a convenient content of animal protein, in a sustainable way. To offer enough animal protein to a population of 10.000 million people it is necessary an increase of the crop areas that will, necessarily, have a severe impact in the natural environment.*

*Research applied to the exploitation of the high capacity of primary production of the phytoplankton may turn in a basic tool to produce food for this population, particularly animal proteins, both from earth and marine origin, in a sustainable way, and with a variety and quality higher than nowadays.*

PARAULES CLAU: aqüicultura, alimentació sostenible.

**T**ot fa preveure que d'aquí a quaranta o cinquanta anys, la població humana del planeta (avui sis mil cinc-cents milions) s'estabilitzarà en un altiplà d'entre nou mil i deu mil milions d'individus. Mantenir vius i sans, dignes i educats  $10^{10}$  individus és probablement el més important repte tècnic d'aquest segle XXI. En el decurs de la nostra vida —de la dels que tenim més de trenta-cinc anys—, la població humana s'ha duplicat. Cap altra generació, des dels temps d'Adam i Eva, si més no, havia vist —ni cap altra previsiblement ho veurà— aquest fenomen ni en viurà les curioses conseqüències.

La causa última de la duplicació de la població no ha estat cap pandèmia de luxúria durant el segle XX; rau en la supervivència derivada dels avenços científics i tècnics: és fonamentalment conseqüència de l'aplicació de la química en l'alimentació. La química, efectivament, ha estat l'última responsable de la «revolució verda» dels anys seixanta i setanta quan —arreu del món— s'introduïren noves tecnologies de cultiu, incloent-hi l'ús massiu d'adobs nitrogenats i plaguicides. Així doncs, la química (l'agroquímica, la química alimentària, la química mèdica) és responsable de la geometria de la corba de població. La disponibilitat de nitrogen reduït

—biodisponible— als camps de conreu és la clau de la productivitat i aquesta, la responsable de la disponibilitat d'aliments.

El creixement de la població mundial quedava condicionat per aquesta circumstància: la disponibilitat d'aliments, i així la població esdevenia pràcticament estable. Però al segle XX, la població va créixer sobtadament arreu; la raó fou la introducció dels adobs nitrogenats de síntesi —adobs químics— i dels plaguicides, que varen aconseguir una productivitat als conreus que permetia nodrir fins a vint persones per hectàrea *versus* les quatre que hom podia nodrir abans de la «revolució verda». Fonamentalment la revolució va ser possible gràcies al fet que Haber & Bosch el 1913 idearen el procediment per a produir adobs nitrogenats des del nitrogen de l'aire, trencant el mecanisme que coartava el desenvolupament de la població humana, limitat per la disponibilitat de nitrogen. El procés Haber & Bosch de síntesi de l'amoniac des de nitrogen atmosfèric i hidrogen obtingut per descomposició de l'aigua o del gas natural ha multiplicat almenys per un factor de quatre l'obtenció de proteïna per hectàrea. L'agricultura sense adobs suplementaris d'origen Haber & Bosch podria alimentar, a tot estirar, fins a quatre mil milions de perso-

nes, però no els sis mil cinc-cents milions que som. Així doncs, avui dos mil cinc-cents milions d'individus, més d'un terç de la humanitat, viuen perquè el seu cos, el nitrogen de les seves proteïnes, ha estat extret de l'atmosfera pel procés Haber & Bosch: més d'un terç de les persones són, doncs, de síntesi: producte directe de la química.

Contra tot pronòstic maltusià, la tecnologia no sols ha permès la supervivència i garantia de les necessitats bàsiques d'una humanitat duplicada: alhora que duplicava el nombre d'individus, en duplicava pràcticament la renda! Malgrat que una mentida repetida mil vegades esdevé una veritat òbvia indiscutible, els rics no són cada vegada més rics i els pobres cada dia més i més pobres. És més veritat que rics i pobres són cada dia més rics a costa, però, sovint, del consum no sostenible de recursos no renovables. El desenvolupament global —i l'ajut internacional, cal dir-ho— està eradicant la pobresa extrema, a la qual quedarien sols quinze anys de vida si s'aplica amb èxit el Projecte Mil·lenni de l'ONU. Vivim en un món pròsper: si no es trenquen les tendències, el 2020 no hi haurà al món pobresa extrema i el 2050 els xinesos tindran la renda que avui tenen els suïssos!

*Oh brave new world!* Però al cap i a la fi, els miracles tecnològics tenen un cost ambiental i els recursos disponibles són limitats. Molts no són renovables: la humanitat fa avui alegre despesa de massa coses que no tenen recanvi. El desenvolupament i la mateixa producció d'aliments tenen un progressiu impacte sobre el medi i no es pot exercir més pressió sobre el medi natural: l'impacte dels adobs —acumulació de nitrats als aqüífers i eutròfies—, pesticides —alteració de les cadenes tròfiques i acumulació als teixits grassos de moltes espècies depredadores a terra i mar— i de la destrucció de bosc —pèrdua d'espècies, de manteniment d'humitat, de capacitat d'absorció de  $CO_2$  i foment de l'erosió— és el màxim tolerable si no ja excessiu. Si guéssim de con-

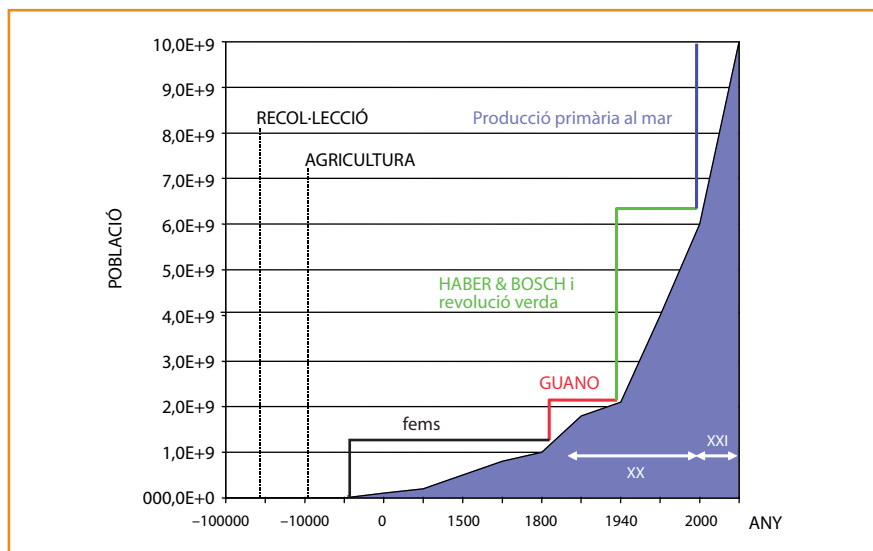


FIGURA 1. Creixement de la població enfront de la producció d'aliments i les fonts de nitrogen disponibles.

rear aliments per a un 50 % més de persones, malgrat la millora en la gestió dels adobs i de tots els agroquímics, és previsible que aquests efectes indesitjables es multiplicarien. Realment, encara que possible, l'obtenció d'un 50 % més d'aliments suposaria molt probablement un impacte mediambiental sever sobre un sistema pràcticament al seu límit.

En realitat, però, avui ja hom conrea prou cereals per a alimentar deu mil milions de persones! Així doncs, *stricto sensu*, la població del món —estabilitzada en un altiplà d'entre nou mil i deu mil milions de persones— seria del tot sostenible. Amb una dieta exclusivament vegetariana, però! Massa sovint hom confon la sostenibilitat amb restricció de la qualitat i quantitat del consum. Sovint hom troba en la sostenibilitat un recurs per a justificar la minva en qualitat i quantitat dels serveis als ciutadans. Molt sovint, sota la manta de la sostenibilitat s'amaga la incompetència en l'administració dels recursos dels ciutadans o la conveniència partidària de determinades polítiques «políticament correctes». Fer quelcom sostenible no és fer-ne minvar el consum pujant els preus: entenc que la missió dels tècnics fóra justament la contrària: oferir recursos abundants i de qualitat sense que l'impacte de fer-ho afecti la pròpia continuïtat del subministrament, incloent-hi, òbviament, tota mena de consideracions ambientals. El concepte de *sostenibilitat* és, doncs, més ampli: el xinès (per posar un exemple) que el 2050 tingui la renda del suís d'avui no es deixarà «sostenir» menjant tan sols arròs. Aquesta situació fóra insostenible *per se*. L'alimentació té components socials, culturals i, fins i tot, estètics que transcendeixen les necessitats fisiològiques, que guanyen progressivament pes en augmentar el nivell de renda.

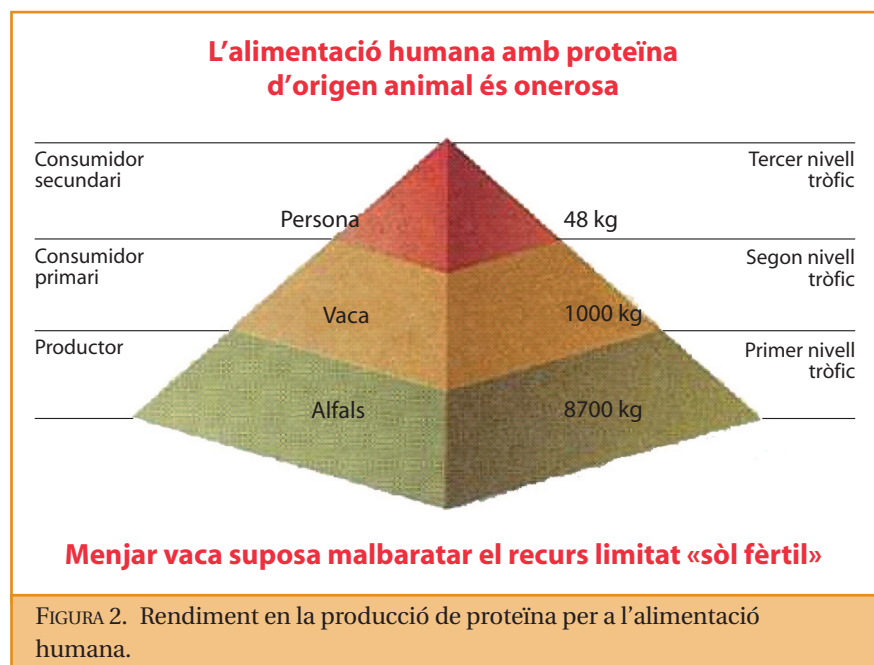
El problema, doncs, és com fer sostenible una alimentació humana variada i de qualitat —rica en tota mena de proteïnes animals— per a deu mil milions de persones sense augmentar substancialment l'impacte dels cultius sobre el planeta.

## La causa de la duplicació de la població ha estat, bàsicament, la millora de l'alimentació i de la salut, en la qual ha tingut gran importància la química en tres dels seus vessants: l'agroquímica, la química alimentària i la química mèdica

Efectivament, la qualitat i, especialment, la varietat tenen un cost. Varietat implica disponibilitat d'animals terrestres (aus i mamífers) i de mol·luscs i peixos. Òbviament, la captura de recursos salvatges és impensable per a alimentar una població de deu mil milions de persones. Així, cal desviar una part important dels nostres aliments primaris aconseguits pels conreus —cereals i altres— per a dedicar-los a la producció d'animals marins i terrestres.

L'alimentació humana amb proteïna d'origen animal és onerosa: un luxe, de fet. El rendiment per a acon-

seguir-la és ínfim: per a fer una tona de vaca calen 8,7 tones d'alfals; amb aquesta tona de vaca, encara que sembli impossible, s'alimenta tan sols una persona de quaranta-vuit quilos! És per això que produint avui un 50 % més de cereals que els que és capaç de consumir la població, no en sobren. Nodrir amb carn o peix suposa una despesa d'aliments primaris d'unes cinc vegades la que correspon a una dieta vegetariana. Si acceptéssim un factor d'alimentació no primari (vegetal) en la nostra dieta, referible al d'avui, ens caldria, doncs, per a nodrir deu mil milions de persones, amb un règim



# L'obtenció d'aliments segons les tècniques actuals per a una població estabilitzada de deu mil milions d'habitants tindrà un impacte mediambiental greu sobre un sistema pràcticament al seu límit, i seria sostenible només en cas de dietes vegetarianes

similar al present en variació i qualitat, disposar aproximadament d'un 50 % més de producció primària. Però quan siguem  $10^{10}$  persones, el PIB del món s'haurà tornat a duplicar respecte al d'avui i la sostenibilitat no raurà a garantir pa o arròs: cal garantir *croissants*, escamarlans i llagostins, aus i vedella! En aquest context caldrà, almenys, duplicar la producció primària actual. Com fer-ho sense augmentar l'impacte sobre el planeta? En altres termes: com es fa sostenible la utopia?

Aquest text especula respecte a la possibilitat de fer-ho llaurant la mar.

De fet, la producció d'aliments és un episodi del cicle del carbó. En el cicle del carbó, el  $\text{CO}_2$  de l'aire és reduït mitjançant la funció clorofíl·lica de les plantes fins a hidrats de carboni i transformat en tota mena de matèria orgànica. Aquesta matèria orgànica —la producció primària— és metabòlicament reoxidada

a  $\text{CO}_2$  i aigua per tota mena de matèria viva primària o no. Tot plegat, el que passa és que l'energia fotònica del Sol és emmagatzemada de forma metaestable en la matèria viva que és metabolitzada (fins a  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ , productes termodinàmicament estables) pels consumidors subsegüents de la cadena tròfica per a recuperar-ne l'energia que conté. El rendiment de l'operació és molt baix: tan sols un 1 % de l'energia solar resta com a energia química. Aquesta eficàcia —la productivitat de determinat ecosistema— pot ser mesurada com els grams de biomassa (o de carbó fixat) produïts per dia i per metre quadrat. La productivitat dels cultius terrestres és extraordinàriament baixa: només d'unitats de gram per metre quadrat i dia. Per exemple  $3,8 \text{ g m}^2 \text{ dia}^{-1}$  per a l'alfals i  $5 \text{ g m}^2 \text{ dia}^{-1}$  per a l'arròs. Aquests valors, però, són àmpliament ultrapassats en el medi aquàtic, als estuaris i corrents contami-

nats. En són responsables les microalgues —el fitoplàncton—, presents en aquesta mena de sistemes.

Efectivament, les microalgues, actuant als oceans, són de fet les principals fixadores de carboni. En presència de prou nutrients —fòsfor i nitrogen— i llum, es reproduïxen molt ràpidament i dupliquen la biomassa en menys d'un dia. Les seves colònies poden arribar a assolir poblacions de milions de cèl·lules per mil·lilitre: no per litre, per mil·lilitre. Això vol dir bilions per metre cúbic. La producció primària del medi aquàtic —de les microalgues— excedeix en molt la del medi terrestre.

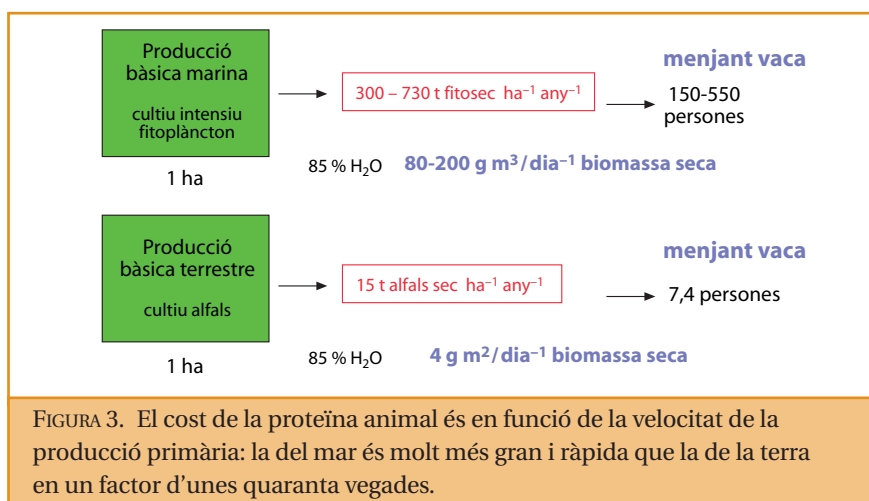
Precisament, la productivitat primària és la clau del cost de la proteïna animal. Analitzant el cas de l'alfals que alimenta la vaca, el problema no és que en calguin 8,7 tones per a fer una tona de vaca; el drama rau en considerar la productivitat de l'alfals: el temps d'ús del recurs sòl fèrtil que cal per a aconseguir prou alfals per a fer una tona de vaca. La productivitat de l'alfals (*Medicago sativa* L.) en quatre talls anuals és de vora  $100 \text{ t any}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  en pes humit, que corresponen a unes  $15 \text{ t any}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  en pes sec. Això vol dir que per a fer una tona de vaca cal usar —durant un any— 0,1 ha de recurs sòl fèrtil. Atès que una tona de vaca dona menjar per a un any a una persona de quaranta-vuit quilos, les persones de seixanta quilos que es poden nodrir (de vaca) amb una hectàrea resulten —menjant vaca— 7,4. L'arròs és un dels cultius més estesos al món, amb una productivitat al delta de l'Ebre de  $7,2 \text{ t any}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  en una collita única. Unes 2.000 kcal (la dieta) s'aconsegueixen amb 600 g d'arròs. Una hectàrea d'arròs —amb una sola collita anual a casa nostra— pot, doncs, alimentar trenta-tres persones: la proporció d'ús de recurs sòl fèrtil arròs/vaca és  $33/7,4 = 4,4$ ! Vol dir que la dieta carnívora, quan hom tracta de nodrir  $10^{10}$  persones, exigiria l'ús d'un recurs —sòl fèrtil— que és limitat i no disponible sense una alteració substancial de l'equilibri del planeta. Hom veu clarament que la varietat

## La vegetació terrestre té una taxa de renovació d'entre un i cinquanta anys, però les microalgues (fitoplàncton) dupliquen el seu pes en un dia

en l'alimentació —la proteïna animal— té un elevadíssim cost del recurs limitat sòl fèrtil. La dieta de qualitat per a  $10^{10}$  persones necessita de més sòl fèrtil. Però no sembla possible augmentar la superfície de conreu sense fer-ho a costa dels boscos, de més adobs o pesticides, i causar, per tant, un gran impacte. Sense alterar el cicle del carbó. Una alternativa fóra utilitzar el sòl de l'oceà: llaurar la mar.

El mar promet una producció primària bàsica molt superior a la que hom pot aconseguir a terra. Efectivament, què passaria si una hectàrea d'alfals, que produeix 100 t/anuals, ho fes en un dia i no en un any? La resposta és que es podria obtenir unes tres-centes seixanta-cinc vegades més producció de vaques per hectàrea. Concretament, no vora dotze tones de vaca per hectàrea i any sinó vora quatre mil dues-centes tones! En aquestes circumstàncies, el fet que menjar vaca suposi l'ús excessiu d'un recurs deixa de tenir sentit. Això, però, no passa. La vegetació terrestre té una taxa de renovació d'entre un i cinquanta anys. Però el que passa al mar és que el fitoplàncton, les microalgues —amb prou energia lumínica i sense manca de nutrients— dupliquen el seu pes en un dia. Productors primaris que dupliquen el seu pes en un dia és el que cal per a poder produir proteïna animal per a  $10^{10}$  persones sense l'impacte ambiental que suposa el cultiu de l'aliment primari: assolir la utopia, en altres mots.

Naturalment aquests productors primaris són les microalgues, presents en estuaris i corrents contaminats. Aquest fitoplàncton, en presència —induïda— de prou nutrients, prou radiació i prou oxigen per a respirar de nit, presenta un cicle reproductor extremament ràpid que desencadena la formació espontània de *blooms* de concentració en cèl·lules d'un milió d'individus per mil·lilitre. Els *blooms* d'un milió de cèl·lules per mil·lilitre són realitat quotidiana en la indústria aquícola de *hatching* i

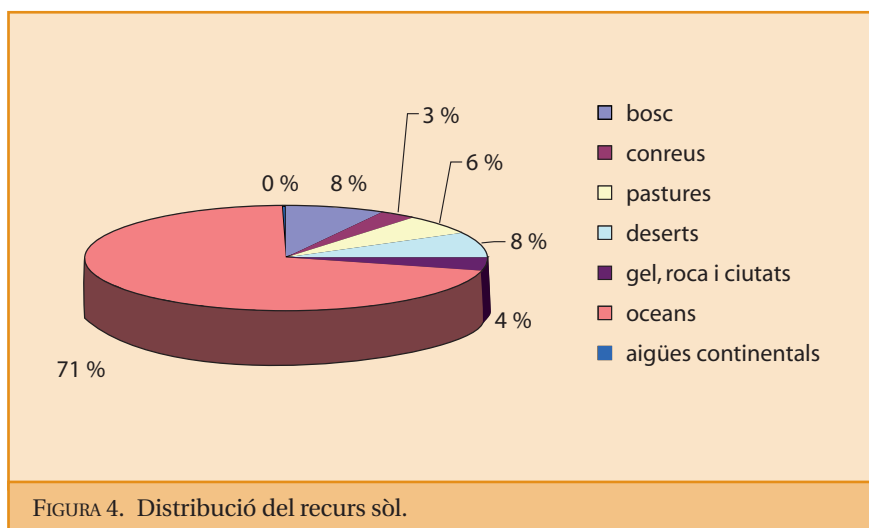


*nursery* (reproducció induïda d'espècies marines). Es tracta de cèl·lules d'unitats o desenes de micra, de pes sec de desenes de picograms ( $10^{-12}$  g); per metre cúbic (assimilable al quadrat quan la profunditat és d'un metre fins on arriba la radiació sense grans dificultats) existeixen, doncs, bilions ( $10^{12}$ ) de cèl·lules amb un pes sec (biomassa) d'unes desenes o uns centenars de  $g/m^3$ . En tot cas, una productivitat molt superior a la d'un metre quadrat a terra. En condicions controlades de no-limitació de radiació i nutrients, la velocitat de reproducció condiona que aquesta producció de biomassa pugui realitzar-se en un cicle d'un dia; la producció de fitoplàncton pot arribar i ultrapassar quantitats de  $200 g m^2 dia^{-1}$  (en realitat el suport és una columna d'aigua d' $1 m^3$  i no qua-

drat): quaranta vegades més que l'arròs (que produeix  $5 g m^2 dia^{-1}$ ) i durant tot l'any!

La productivitat per hectàrea i any de cultius intensius i controlats de microalgues pot ésser d'entre 300 i 700 t de biomassa primària  $ha^{-1} any^{-1}$ , i d'un valor nutritiu extraordinari. Efectivament, el valor nutritiu del producte obtingut present a un insòlit contingut en proteïna i una extraordinària qualitat (i quantitat) dels àcids grassos presents. La qualitat nutritiva és del tot preferible —si no millor— que l'alfals o l'arròs.

Així doncs, l'objectiu d'aquest text fóra cridar l'atenció respecte a la possibilitat teòrica d'aprofitament d'aquest recurs —les microalgues— com a font primària per a aconseguir pinsos per a la producció de proteïna animal —terrestre i marina—, sense





# La recerca per a aprofitar la gran productivitat primària del fitoplàncton de la mar pot generar una eina que permeti obtenir l'aliment suplementari bàsic que caldrà per a nodrir sosteniblement i amb varietat i qualitat la població mundial de deu mil milions d'habitants

malbaratar cereals ni el recurs limitant sòl fèrtil. Hom proposa desenvolupar la tecnologia que permeti bastir plantes marines de cultiu intensiu de fitoplàncton per a obtenir primera matèria per a tota mena de pinsos. En altres termes, una tec-

nologia que permeti duplicar —de forma sostenible— la producció primària actual sense ocupar una hectàrea més de terreny ni produir impacte sensible als boscos!

Una característica del cultiu primari marí és l'alta productivitat en

proteïna. Efectivament, la producció primària marina en proteïna per hectàrea i any, estimada des de les propietats d'un mixt d'espècies de microalgues, resultaria d'unes dues-centes cinquanta vegades la de l'arròs i vuitanta vegades la de l'al·fals. En gros, podríem estimar en un factor de cent la productivitat primària de proteïna marina respecte a la productivitat primària terrestre. La proteïna primària resulta el component fonamental per a la producció de pinsos per a l'obtenció de proteïna animal. Si la producció primària de proteïna a la mar fóra de cent vegades la terrestre, el mar a llaurar fóra un 1 % de la superfície actual de conreus, que s'ha establert en uns quinze milions de quilòmetres quadrats, és a dir un màxim de 150.000 km<sup>2</sup>: un camp de conreu marí quadrat de 380 km repartit entre tots els mars de la terra! Per exemple, mil plantes de producció de proteïna marina de 150 km<sup>2</sup> cadascuna: un quadrat de dotze quilòmetres de costat.

La idea central és desenvolupar la recerca per a aprofitar la gran productivitat primària del fitoplàncton de la mar, com a eina que permeti obtenir l'aliment suplementari bàsic que caldrà per a nodrir —sosteniblement però simultàniament amb més varietat i qualitat que avui— uns tres mil cinc-cents milions més de persones en els propers quaranta anys.

Penso —n'estic absolutament convençut—, que mai, mai, en la llarga història de la humanitat hi ha hagut, per a tants, tanta oferta de qualitat, diversitat i quantitat d'aliments. Penso també que la prosperitat és sostenible. La utopia que deu mil milions —10<sup>10</sup>— de persones puguin no sols cobrir dignament les necessitats metabòliques sinó gaudir de la cultura gastronòmica en un nivell mai vist, i de manera totalment sostenible, és termodinàmicament possible. Una prioritat social que esdevé un repte per als químics alimentaris.

Tant de bo que aquestes paraules puguin motivar algú a acceptar el repte.

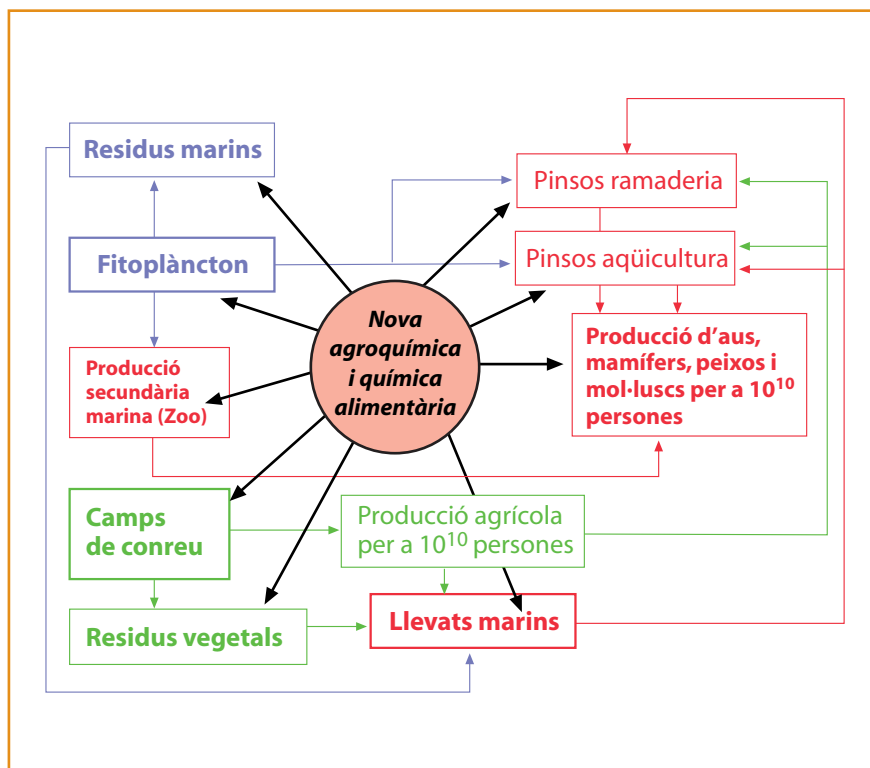


FIGURA 5. Aplicacions de la nova química alimentària.