

Per acabar, presentem una proposta d'ús de les gotes lipídiques com a marcadors tumorals (Yao et al.). S'ha observat que les cèl·lules tumorals presenten un nombre més elevat de gotes lipídiques. Aquest fet obre la possibilitat d'utilitzar tant les gotes lipídiques com algunes proteïnes que hi estan associades com a biomarcadors. Tindria un interès especial l'ús de la resonància magnètica nuclear<sup>1</sup> com a tècnica d'anàlisi no invasiva en tumors situats en zones d'accés difícil, com ara els tumors cerebrals (Zoula et al.). En condicions d'hipòxia, com ara la que es dona a la part més interna dels tumors sòlids, els àcids grassos no poden ser degradats via  $\beta$ -oxidació, i quan aquests àcids intracel·lulars estan lliures són tòxics per a les cèl·lules. Per evitar-ne la toxicitat, les cèl·lules —i les tumorals no en són una excepció— els metabolitzen en triacilglicèrids, que s'acumulen com

a gotes lipídiques. Dins la zona d'hipòxia, hi ha una regió central de cèl·lules tumorals que moren per necrosi. A la perifèria d'aquesta zona necròtica trobem una àrea de cèl·lules tumorals viables que presenten una acumulació elevada de gotes lipídiques. Aquestes cèl·lules que envolten la regió necròtica són les responsables de la resistència del tumor a la radioteràpia. L'ús, doncs, d'una tècnica que permeti detectar aquestes cèl·lules que sobreviuen en condicions d'hipòxia podria ser utilitzada per a la diagnosi, la prognosi i l'orientació dels tractaments dels càncers cerebrals. |

1. La resonància magnètica nuclear és capaç de mesurar senyals a 0,9 i 1,28 ppm de l'espectre de <sup>1</sup>H. Aquests senyals provenen principalment dels àcids grassos esterificats dels triacilglicèrids continguts en les gotes lipídiques.

# Biocombustibles: energia o aliment?

Escrit per

Carles Gracia

Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona i Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)

Per alimentar una persona durant un any es requereix la producció equivalent a mitja tona de gra. En canvi, es necessita una superfície dotze vegades més gran per alimentar el seu automòbil amb biocombustibles. La quantitat de cereals necessària per produir els 70 L de bioetanol que calen per omplir el dipòsit del cotxe equival al cereal que alimenta una persona durant una mica més de quatre mesos. Realment, l'ús dels biocombustibles ajuda a estalviar energia? Ajuda a reduir les emissions de CO<sub>2</sub>? És un procés sostenible?

en els mitjans de comunicació; i tot a costa d'invertir-hi més energia. Resultat final: en el nostre got de llet hem invertit 7.500 kcal, l'energia necessària per alimentar tres persones durant tot un dia.

Per alimentar tota la població mundial actual es necessitarien unes 5 Ecal anuals, però en consumim vint

El progrés de la nostra societat es basa en el consum desmesurat d'energia exosomàtica. Globalment, consumim al voltant de 100 exacalories (1 Ecal = 10<sup>18</sup> cal) anuals. Els Estats Units, amb 1/22 part de la població mundial, consumeixen una quarta part d'aquesta energia global, i cada any consumeixen més energia que la que pot fixar tota la seva vegetació. Gairebé un 40 % de l'energia consumida al món es destina al transport i es crema als motors dels nostres cotxes, avions o vaixells.

vegades més: 100 Ecal, que equivalen a més de 10.000 milions de tones equivalents de petroli (Mtep). L'any 2005 es van consumir al món 10.212 Mtep, 4.002 dels quals es van consumir directament en forma de petroli; la resta, sota la forma principalment de carbó (2.822 Mtep), gas (2.346 Mtep) i, minoritàriament, sota la forma d'energia hidroelèctrica, nuclear i altres fonts renovables (1.041 Mtep), segons dades de l'OPEP del 2007. Aquest ritme de consum fa que el petroli sigui cada cop més escàs, al mateix temps que les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera s'incrementen fins a assolir nivells que estan alterant el funcionament normal de la màquina tèrmica de la Terra. Estem esgotant les reserves de petroli, i tot fa pensar que els enormes jaciments que proporcionen cru de fàcil accés són cosa del passat. Actualment es perforen uns 2.500 pous al món en busca de nous jaciments. Malgrat aquest esforç, des dels anys vuitanta no s'ha descobert cap camp petroler dels anomenats *gegants* (fig. 1). Atesos els elevats costos associats a l'exploració del petroli, la indústria requereix jaciments que permetin recuperar 500 milions de barrils o més; si no, no es recuperen els capitals invertits en l'exploració.

Per cada calor ingerida amb l'aliment, es consumeixen entre 5 i 50 calories d'energia en concepte de producció, empaquetament, transport, distribució i publicitat. Des d'aquesta perspectiva, hem arribat a construir un estil de vida tan absurd que fa que un fet tan innocent com beure un got de llet —amb què ingerim unes 150 kcal— es tradueix en el malbaratament d'una ingent quantitat d'energia. Munyim la vaca mecànicament utilitzant energia elèctrica, la llet es pasteuritza utilitzant més energia elèctrica, s'empaqueta en un envàs de plàstic o cartró fabricat a expenses de més energia, es transporta, sovint a l'altra punta del món, i s'anuncia

## Referències bibliogràfiques

- GUBERN, A. [et al.] (2009). «Lipid droplet biogenesis induced by stress involves triacylglycerol synthesis that depends on group VIA phospholipase A2». *Journal of Biological Chemistry*, núm. 9, p. 5697-5708.
- DU, L. [et al.] (2009). «Starving neurons show sex difference in autophagy». *Journal of Biological Chemistry*, vol. 284, núm. 4, p. 2383-2396.
- BOSTRÖM, P. [et al.] (2007). «SNARE proteins mediate fusion between cytosolic lipid droplets and are implicated in insulin sensitivity». *Nature Cell Biology*, núm. 9, p. 1286-1293.
- BARBA, I. [et al.] (2009). «Effect of intracellular lipid droplets on cytosolic Ca<sup>2+</sup> and cell death during ischaemia-reperfusion injury in cardiomyocytes». *Journal of Physiology*, vol. 587, núm. 6, p. 1331-1341.
- COLET, N. B. [et al.] (2002). «Lipid droplet binding and oligomerization properties of the Parkinson's disease protein alpha-synuclein». *Journal of Biological Chemistry*, vol. 277, núm. 8, p. 6344-6352.
- SHARON, R. [et al.] (2003). «The formation of highly soluble oligomers of alpha-synuclein is regulated by fatty acids and enhanced in Parkinson's disease». *Neuron*, vol. 37, núm. 4, p. 583-595.
- YAO, P. [et al.] (2005). «Gene expression analysis of renal carcinoma: adipose differentiation-related protein as a potential diagnostic and prognostic biomarker for clear-cell renal carcinoma». *Journal of Pathology*, núm. 205, p. 377-387.
- ZOULA, S. [et al.] (2003). «Pimnidazole binding in C6 rat brain glioma: relation with lipid droplet detection». *British Journal of Cancer*, núm. 88, p. 1439-1444.

## Albert Gubern i Bursat

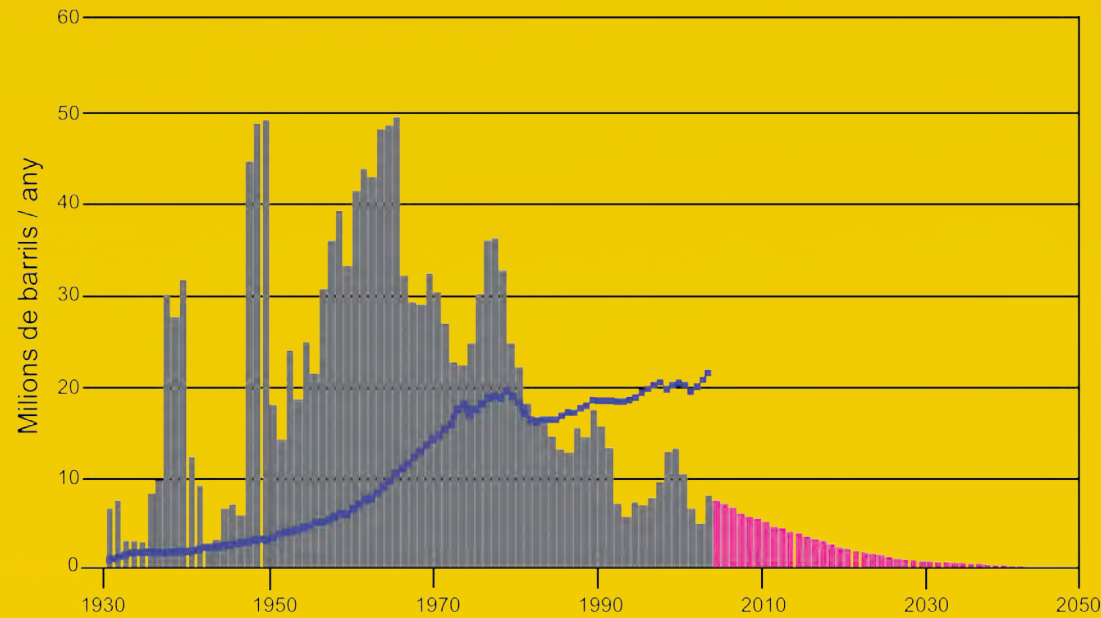
(Barcelona, 1979)



Albert Gubern és llicenciat en bioquímica i en biologia per la Universitat Autònoma de Barcelona (2003), i va obtenir el grau de doctor en bioquímica el 2008. Des d'aquest mateix any treballa al grup de senyalització cel·lular dirigit pel doctor Francesc Posas a la Universitat Pompeu Fabra. El treball realitzat durant la seva tesi doctoral descriu el procés de senyalització que desemboca en la formació de les gotes lipídiques. Actualment, en l'etapa postdoctoral, treballa en mecanismes de control del cicle cel·lular en situacions d'estrès.



► **Figura 1.** Petrolí descobert en el passat segons dades d'ExxonMobil (2004), descobriments futurs estimats i evolució de la producció mundial. La distància creixent entre els descobriments de nous jaciments i la producció posa en risc la sostenibilitat de la societat actual.



En aquest context, cada cop resulta més necessari disposar de fonts d'energia alternatives.

Alguns autors proposen l'ús de l'energia emmagatzemada en la biomassa dels vegetals com a alternativa, encara que només sigui parcial, als combustibles fòssils. Les plantes fixen una part —vora l'1 %— de l'energia solar que els arriba, i aquesta pot ser recuperada cremant directament la biomassa, tot utilitzant la llenya per escalfar-nos i cuinar els aliments, o transformant-la prèviament per produir biocombustibles que puguin *nodrir* els motors dels nostres vehicles.

I aquí neix el conflicte. Satisfer les demandes energètiques de la societat a base de biocombustibles és una aposta impossible. Pot requerir la utilització d'un espai agrícola i d'altres recursos, com ara aigua, nitrogen, fòsfor i d'altres fertilitzants, que posin en perill tant la producció d'aliments com la sostenibilitat del planeta. Una comparació molt simple ens ajudarà a comprendre la magnitud del problema. L'energia que consumim anualment, a escala mundial, equival a uns 75 gigabarrils equivalents de petroli, uns 30 dels quals corresponen al petroli pròpiament dit. Substituir aquest petroli per bioetanol procedent del blat de moro, per exemple, requeriria 510 Gt de gra, una quantitat que està entre vuit i nou vegades la producció mundial, i per conrear-les caldrien més de 6.000 milions d'hectàrees, molt més que tota la superfície agrícola de la Terra, que ocupa poc més de 5.000 milions d'hectàrees (FAO, 2001). Els arguments ambientalistas que tracten de justificar la producció de biocombustibles es basen en el fet que, si omplim el dipòsit del nostre vehicle

amb bioetanol o biodièsel, el CO<sub>2</sub> que emetrà el nostre cotxe a l'atmosfera és el que prèviament ha fixat la planta, amb la qual cosa s'argumenta que els biocombustibles contribueixen a reduir les emissions de CO<sub>2</sub>. Els qui apliquen aquest raonament tan simplista oblidem que la producció dels conreus requereix una inversió de quantitats considerables d'energia que se supleix, majorment, amb energia fòssil. A més, s'ha d'afegir que el procés industrial posterior de producció del biocombustible requereix, alhora, importants inversions d'energia.

L'anàlisi de la producció de biocombustibles i de les polítiques necessàries per produir-los s'ha de basar en una anàlisi cost-benefici que inclogui tota la cadena de producció. Resulta particularment important si es pren en consideració el fet que se'n poden derivar efectes importants sobre l'agricultura i la producció d'aliments. Ens hem de preguntar sobre el balanç net d'energia —i de CO<sub>2</sub>— del procés productiu de cada biocombustible.

Tot sovint es parla de la contribució dels biocombustibles a l'estalvi de les emissions de CO<sub>2</sub>. Serà bo començar per considerar que tot conreu requereix una entrada d'energia sota formes diferents: treball mecànic de preparació del terreny, producció de llavors, sembra, aplicació de fertilitzants, herbicides i pesticides, en alguns casos irrigació, recol·lecció i transport de materials al conreu i dels productes de la collita als centres de distribució i processament. Per a totes aquestes tasques s'utilitzen vehicles mecànics que consumeixen combustibles fòssils. També es requereix energia elèctrica per

bombejar l'aigua de reg. L'equivalent energètic de totes aquestes operacions difereix, naturalment, segons el tipus de conreu i el lloc on es produeix, ja que les necessitats d'irrigació i de fertilització poden diferir d'un lloc a l'altre. Nombrosos autors han analitzat el cost energètic i d'emissions de CO<sub>2</sub> del conreu i del processament industrial del bioetanol i del biodièsel obtinguts a partir de diferents plantes.

El bioetanol és un combustible d'origen vegetal que es produeix a partir de la fermentació alcohòlica de matèria orgànica rica en sucres. Es parteix de midó o cel·lulosa que s'hidrolitzen per obtenir glucosa, que, un cop fermentada, produeix l'etanol. Com a font de glucosa s'utilitzen materials molt diversos: blat de moro, canya de sucre, remolatxa, cel·lulosa, sorgo, patates, blat, etc. L'etanol s'utilitza en motors

Es requereixen grans quantitats de fertilitzants, fins al punt que el 40 % de tot el nitrogen mundial destinat a fertilitzants es dedica a la producció de blat de moro. A més, el cultiu requereix uns 1.000 mm d'aigua, de manera que una part de la producció s'obté en terrenys de regadiu. Això implica que l'aigua s'ha de bombejar i transportar a expenses d'un consum d'energia elèctrica.

La producció d'una hectàrea de blat de moro (18 t de biomassa seca, el 50 % de les quals corresponen al gra) comporta la fixació de 9 t de carboni (el carboni representa, aproximadament, el 50 % de la biomassa), que equivalen a 33 t de CO<sub>2</sub>, 16,5 t de les quals es fixen en la producció del gra. L'energia invertida en el cultiu d'una hectàrea de blat de moro comporta unes 5.145 Mcal, que es tradueixen en unes emissions de 1.900 kg de CO<sub>2</sub>. Si les descomptem de la fixació del con-

## LA PRODUCCIÓ DE BIOETANOL A ESPANYA

Per entendre l'impacte del bioetanol al nostre país, cal recordar que dels 13 milions d'hectàrees agrícoles d'Espanya, una mica més de 6,6 milions es destinen al conreu de cereals, ja sigui en secà o en regadiu, i que la producció mitjana de gra està al voltant de 3,19 t/ha anuals. Si totes les plantes de bioetanol previstes s'alimentessin de cereals com a matèria primera, requeririen 4,2 Mt anuals de gra, que representa el 19,8 % de la producció del país, i per a la qual calen 1,3 milions d'hectàrees de conreu. A més, el bioetanol produït equivaldria a l'1,1 % del consum anual de petroli, el 3 % si considerem només el petroli invertit en transport. Un cop més es posa de manifest la desbaratada desproporció que representa utilitzar productes basats en la fotosíntesi com a font d'energia: el 20 % de la superfície agrícola del país amb prou feines pot produir l'1 % del petroli que consumim anualment.

d'explosió com additiu o substitut de la benzina.

El risc de competència de la producció d'etanol amb els aliments rics en carbohidrats resulta evident. El blat de moro és una gramínia que posseeix una fotosíntesi de tipus C4, i que produeix molta biomassa, el 50 % de la qual en forma de gra. Per això, és la matèria primera utilitzada preferentment als EUA, primer productor mundial de bioetanol. Amb una agricultura mecanitzada, la producció arriba als 9.000 kg/ha (pes fresc de gra amb un contingut d'aigua del 15 %) i, en condicions molt favorables, pot arribar als 10.000 kg/ha. Naturalment, aquestes produccions tan elevades només són possibles invertint quantitats considerables d'energia en el conreu.

reu, podem considerar que el cultiu d'una hectàrea de blat de moro té un balanç net de fixació de CO<sub>2</sub> d'una mica més de 30 t. D'altra banda, a la planta industrial el gra de blat de moro es tritura i el midó s'hidrolitza per obtenir-ne glucosa. La glucosa se sotmet a un procés de fermentació per obtenir etanol i una fracció menor d'altres bioalcohols. Produïda per llevats, la fermentació de la glucosa es podria resumir així:



El pes molecular de la glucosa és de 180 g i cada molècula fermentada origina dues molècules d'etanol (pes molecular = 46 g) i dues de CO<sub>2</sub> (pes molecular = 44 g), amb la qual cosa l'eficiència teòrica del procés és  $(2 \times 46)/180 = 0,51$ . Alhora, en la fermentació de la glucosa, el 49 % de la massa s'oxida a CO<sub>2</sub> i resulta una dissolució d'etanol al 8 %. Atès que 1 kg de blat de moro conté 560 grams de midó (descomptat el 15 % d'humitat), aquesta gramínia permet obtenir en teoria 317 g d'etanol o, el que és el mateix, per obtenir 1 kg d'etanol es necessiten 3,17 kg de blat de moro. Una hectàrea de conreu, que produeix 8.976 kg de gra de mitjana, permet obtenir 2.845 kg d'etanol. Atesa la densitat del bioetanol (0,79 g/cm<sup>3</sup>), la producció d'un litre d'etanol requereix, en teoria, 2,48 kg de blat de moro. Es tracta d'un rendiment màxim, ja que en la pràctica es produeixen pèrdues, de manera que la fermentació i la destil·lació d'etanol té lloc amb una eficiència propera al 85 %. En aquestes condicions, la producció d'un litre de bioetanol requereix 2,9 kg de gra de blat de moro. Una hectàrea d'aquest conreu pot produir, per tant, uns 3.100 L d'etanol.

Però encara n'hi ha més. Al líquid de fermentació s'afegeixen 15 L d'aigua per cada litre d'etanol produït. El cost de bombejar l'aigua s'estima en 4 cal/L per cada metre d'alçada. Si suposem que l'aigua es bombeja des d'una profunditat mitjana de 100 m, el cost de bombeig suposa 0,4 kcal/L i, en total, 6.000 kcal. El resultat és que prop del 30 % del cost energètic de produir etanol és representat pel cost del conreu mateix, en tant que la destil·lació (1.430 kcal/L d'etanol) representa gairebé el 40 % del cost del procés industrial, que puja a 3.800 kcal/L. Si sumem a aquesta xifra les 1.640 kcal/L del cost proporcional del cultiu, obtenim un cost total de 5.435 kcal/L d'etanol, que és una estimació conservadora del cost energètic total de produir aquest alcohol a partir del blat de moro.

Una part important de l'aigua utilitzada en la fermentació formarà la vinassa, el residu líquid produït en el procés de destil·lació que té lloc després de la fermentació. Es tracta d'un líquid de pH àcid amb una elevada demanda química i bioquímica d'oxigen. Atès el grau de contaminació que generen, les vinasses han de ser depurades abans de ser abocades. El cost energètic de depurar aquestes aigües residuals representa unes 1.400 kcal per cada litre d'etanol produït. A més, també cal comptar l'energia derivada de la construcció de les plantes industrials, però en

repartir l'energia que representa la construcció entre els litres d'etanol produïts durant la seva vida útil s'observa que representa una fracció molt petita del cost total del processament. A la taula 1 es parteix d'una planta capaç de processar 114 milions de litres anuals d'etanol amb una vida útil de vint anys, que representa un cost energètic de 7 kcal per cada litre d'etanol.

El transport també té un paper clau en la despesa energètica de la producció de biocombustibles. El gra s'ha de transportar, com a mínim, des del conreu fins a la planta processadora, on se sotmet al procés industrial. Posteriorment, l'etanol produït s'ha de transportar fins als centres de distribució i consum final. Sovint, aquest transport ha de cobrir distàncies considerables. El balanç energètic final de la producció del biocombustible dependrà, en bona part, del cost final d'aquest transport, que constitueix la partida més important del cost energètic de la producció després del conreu, la destil·lació del producte final i la depuració de les aigües residuals. Es comprèn que aquest balanç final resulti sensible tant a la distància de transport com al mitjà utilitzat. A la taula 1 es parteix d'una distància mitjana de 3.000 km en vaixell i de 500 km per carretera, amb la qual cosa resulta un cost de transport de 685 kcal/L d'etanol transportat.

Finalment, considerarem que el consum d'energia elèctrica de la planta de processament és de 100 kWh per cada 1.000 L d'etanol produït, equivalent a 259 Mcal. Aquest consum s'afegeix al consum d'energia elèctrica utilitzada tant en els processos de destil·lació com de depuració de les aigües residuals, ja que el cost energètic d'aquests processos s'ha inclòs en l'estimació de cadascun (taula 1).

Amb tot, el cost energètic resultant de produir un litre d'etanol puja a 5.435 kcal. Si es compara aquesta xifra amb el contingut energètic del mateix etanol (5.610 kcal/L) es fa palès que ambdues quantitats resulten pràcticament iguals, encara més si acceptem la variabilitat inherent a les estimacions de cada component del balanç. El negoci de la producció d'etanol a partir del gra de blat de moro resulta, doncs, escassament rendible en termes energètics, atès que requereix invertir pràcticament la mateixa quantitat d'energia que se n'obté.

Malgrat això, encara es poden esgrimir els arguments referits a la reducció d'emissions de CO<sub>2</sub>. Els gairebé 9.000 kg de gra produït en una

CONREU (Valors referits a 1 ha)			Equivalent energètic (kcal/ha)	Emissions de CO <sub>2</sub> associades (kg/ha)
Llavors necessàries per a la sembra del conreu (kg/ha)	a	21,00	481 979	14
Maquinària pesant (kg/ha/any)	b	41,56	374 000	112
Fertilitzants:				
Nitrogen (kg/ha)		147,80	1 875 405	563
Fòsfor (kg/ha)		56,10	127 100	38
Potassi (kg/ha)		75,59	150 135	45
Cal viva (kg/ha)		370,80	146 481	401
Herbicides (kg/ha)		3,11	220 431	66
Pesticides (kg/ha)		0,42	30 105	9
Transport de materials (kg)	c	9 778,32	215 436	65
Treball personal (hores/ha/any)	d	11,40	483 092	145
Irrigació (mm) (e)	e	80,00	320 000	96
Combustibles:				
Gasoil (L/ha)		88,00	814 303	244
Benzina (L/ha)		40,00	340 723	102
<b>TOTAL del conreu</b>			<b>5 145 408</b>	<b>1 901</b>
Rendiment del conreu (kg de gra de blat de moro/ha)			8 976	
Producció d'etanol (L d'etanol/kg de blat de moro)			0,35	
Producció d'etanol (L d'etanol/ha)			3 141	

PROCESSAMENT INDUSTRIAL (Valors referits a 1.000 L)			kcal/1.000 L	CO <sub>2</sub> (kg/1.000 L)
Gra per produir 1.000 L d'etanol (kg)		2 857		
Transport:				
Pes de grans i etanol final (kg)		3 857		
Distància de transport en camió (km)		500	424 903	127
Transport en vaixell (només l'etanol) (km)	f	3 000	260 220	78
Planta de producció (kcal/L d'etanol)	g	7,0	6 984	2
Aigua (15 L/L d'etanol) (L)	h	15 000	6 000	2
Destil·lació de l'etanol (L)	i	16 000	1 430 793	429
Concentració al 99,5 % (kcal/L)	j	9	9 000	3
Electricitat (kWh)	k	100	259 200	78
Depuració de les aigües residuals (kg de DBO)	l	135	1 399 680	420
<b>TOTAL processament industrial</b>			<b>3 796 780</b>	<b>1 139</b>
<b>TOTAL GENERAL (kcal/1.000 L d'etanol)</b>			<b>5 434 702</b>	<b>1 744</b>
<b>Energia recuperada amb el bioetanol</b>			<b>5 609 736</b>	<b>1 683</b>
<b>Rendiment (energia recuperada / energia invertida)</b>			<b>1,03</b>	<b>0,96</b>
Productes secundaris				
DDG (kg)	m	943	4 704 480	
Energia total (bioetanol + DGG):			10 314 216	
<b>Rendiment final:</b>			<b>1,90</b>	
Litres de bioetanol equivalents a 1 L de benzina		1,52		2 648
Emissions de CO <sub>2</sub> del bioetanol / emissions de la benzina				<b>1,04</b>

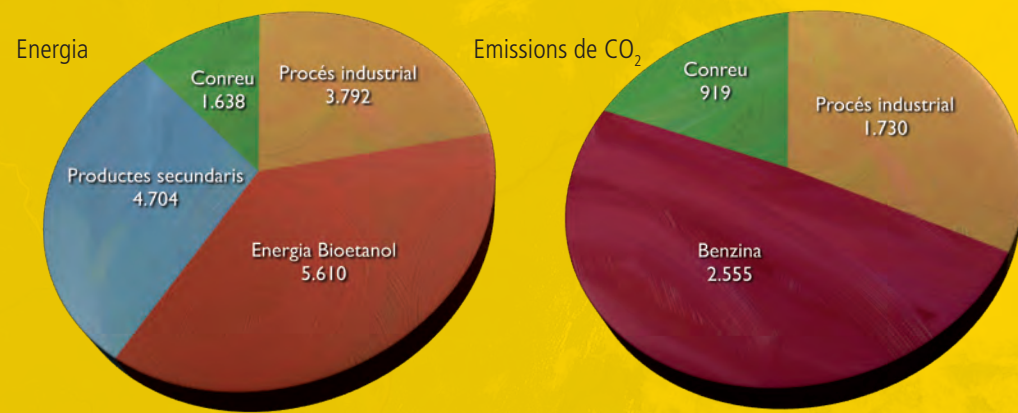
a) En la sembra s'utilitzen llavors híbrides. El cost de produir-les és quatre vegades superior al cost de producció de la mateixa quantitat de gra en el conreu.  
 b) Granja de 120 ha i vida mitjana de la maquinària de quinze anys.  
 c) Transport de les llavors, fertilitzants, herbicides i gra de la collita a una distància de 100 km en camió.  
 d) Assumint un cost de 42.300 kcal/hora de treball, que és el valor que correspon a l'agricultura mecanitzada dels països desenvolupats.  
 e) Assumim un cost d'irrigació de 4 cal per cada litre d'aigua que es bombeja a 1 m d'altura i assumint que només es complementa la precipitació afegint-hi 80 mm.  
 f) El transport a llarga distància només afecta l'etanol i no la resta de materials.  
 g) Planta amb una vida útil de vint anys que processa

114.000 t d'etanol/any.  
 h) En el procés de fermentació s'afegeixen 15 L d'aigua per cada litre d'etanol produït.  
 i) Assumim dues etapes de destil·lació. A la primera es parteix d'una concentració d'etanol del 8 %, i la segona etapa parteix d'una concentració del 80 %.  
 j) Concentració del bioetanol: es parteix d'alcohol al 95 %, que es troba a 60 °C provinent de la destil·lació.  
 k) 1 kWh = 3 MJ, i per produir 1 MJ d'electricitat s'inverteixen 3 MJ d'energia tèrmica.  
 l) 10.000 L d'aigua (la resta es recupera en la destil·lació) amb una DBO mitjana de 15 g/L representa 150 kg de DBO per cada 1.000 L d'etanol. Es consumeixen 4 kWh per cada quilogram de DBO.  
 m) 330 g de DDG produïts per cada quilogram de blat de moro processat, i el seu contingut energètic és de 525 kcal/kg.

► **Taula 1.** Energia invertida en el conreu d'una hectàrea de blat de moro i en el processament industrial del gra necessari per produir 1.000 L de bioetanol i emissions de CO<sub>2</sub> associades al consum d'aquesta energia

►Figura 2.

Esquerra: Balanç energètic de la producció de bioetanol (valors en kcal/l de bioetanol produït) a partir del gra de blat de moro. L'energia que s'ha d'invertir en el conreu més l'energia del procés industrial resulten pràcticament igual a l'energia que es recupera en el bioetanol, amb la qual cosa el balanç energètic del procés es pràcticament nul. Els residus de la destil·lació, rics en proteïnes i fàcilment digeribles, aporten una quantitat extra d'energia si s'utilitzen com a pinso per alimentar animals. Dreta: Les emissions de CO<sub>2</sub> que es produeixen en el conreu més les que es produeixen durant el procés industrial resulten lleugerament superiors a les de la benzina, que pot ser substituïda pel bioetanol. El balanç d'emissions de CO<sub>2</sub> resulta negatiu. S'emet més CO<sub>2</sub> en la producció de bioetanol que amb la pròpia benzina fòssil convencional. Els valors són grams de CO<sub>2</sub> emesos per cada litre de benzina consumida i els valors corresponents al bioetanol equivalent.



hectàrea de blat de moro fixen 4,5 t de carboni (16,5 t de CO<sub>2</sub>). En la producció del cultiu s'emeten a l'atmosfera 1.900 kg de CO<sub>2</sub>/ha, 605 dels quals corresponen a la part proporcional del gra necessari per produir 1.000 L d'etanol. Les emissions associades al procés de transformació industrial suposen 1.139 kg més, que, afegits a les emissions del conreu, totalitzen la xifra gens menyspreable de 1.744 kg. Naturalment, en aquest còmput no s'inclou el CO<sub>2</sub> emès en la combustió del mateix etanol atès que queda compensat en haver-se fixat prèviament al conreu. Podem concloure que la producció d'un litre de bioetanol comporta l'emissió a l'atmosfera d'1,7 kg de CO<sub>2</sub>. La pretesa contribució del bioetanol a la reducció d'emissions de CO<sub>2</sub> resulta més que discutible en vista d'aquests balanços. Encara resulta més discutible si es consideren altres riscos ambientals derivats del conreu, com per exemple els d'eutrofització de les aigües per l'aplicació intensiva de fertilitzants i lixiviació posterior.

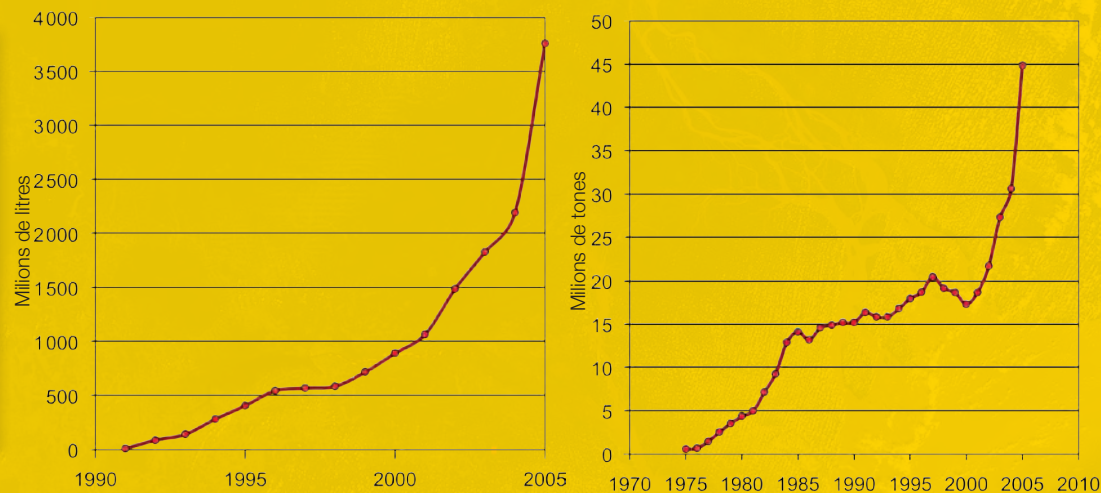
Però encara n'hi podem afegir més. El contingut energètic de l'etanol cremat al motor del cotxe és de 5.610 kcal/L (7.128 kcal/kg), mentre que el d'una benzina estàndard (densitat = 0,76 kg/L) és de 8.518 kcal/L (11.208 kcal/kg), amb la qual cosa resulta que, per obtenir la mateixa energia al motor del vehicle, es requereix un volum de combustible 1,5 vegades més gran de bioetanol

que de benzina convencional. Així, els marges minsos que havíem obtingut en els nostres càlculs es tornen netament deficitaris. La producció del bioetanol comporta unes emissions associades de 2,65 kg de CO<sub>2</sub>, quantitat lleugerament superior als 2,56 kg emesos en cremar un litre de benzina. Podem afirmar, sense cap mena de dubte, que el bioetanol obtingut a partir del blat de moro no suposa cap esperança per reduir les emissions de CO<sub>2</sub> (fig. 2). Resultats semblants s'obtenen en considerar la producció de bioetanol i biodièsel a partir d'altres matèries primeres.

Aquests resultats, i altres d'inclosos en la bibliografia, ens obliguen a reconsiderar el paper dels biocombustibles. Fins i tot en el cas de matèries primeres i condicions de conreu amb balanços favorables, els escassos marges de millora energètica i reducció d'emissions ens obliguen a pagar un preu molt elevat en forma d'eutrofització de l'aigua, desforestació i efectes socialment perniciosos del desviament de productes agrícoles de l'alimentació humana a l'alimentació dels nostres cotxes. Tal com van les coses, la substitució dels combustibles fòssils per biocombustibles es pot convertir en una batalla èpica entre els 800 milions de propietaris d'automòbils del món que volen seguir mantenint la seva mobilitat i els 2.000 milions de pobres que volen disposar d'aliment i sobreviure. Què han de produir les nostres granges, aliments o combustibles?

►Figura 3.

Esquerra: Producció mundial d'etanol. Dreta: Producció mundial de biodièsel, 1991-2005. Font: Compilat per l'Earth Policy Institute segons les dades de F.O. Licht, citades a Suzanne Hunt and Peter Stair (2006). «Biofuels Hit a Gusher» *Vital Signs* (Washington, DC. Worldwatch Institute), p. 40-41, i a F.O. Licht. «World - Biodiesel Production (tonnes)» taula, *World Ethanol and Biofuels Report*, vol. 4, núm. 16 i 17.



La població i les seves necessitats alimentàries també van en augment. L'agricultura proporciona actualment aliments per a uns 6.000 milions de persones, encara que el repartiment global sigui desigual. Ara bé, l'any 2050 caldrà alimentar 9.000 milions de persones. Incrementar la producció agrícola en la proporció necessària representa un repte formidable. Alimentar una persona durant un any requereix la producció equivalent a mitja tona de gra, una quantitat que permet algun excedent per al conreu següent i una fracció per alimentar el bestiar que serà consumit com a font de proteïnes animals. Ara bé, si aquesta persona condueix un cotxe relativament eficient, amb un consum mitjà de 7 L/100 km, i condueix 20.000 km anuals, consumirà 1.400 L de benzina o 2.100 L d'etanol. Per produir aquest combustible a partir del blat de moro, calen 6 t de gra (2,85 kg de gra/L de biocombustible) o, el que és el mateix, cal una superfície dotze vegades més gran per alimentar l'automòbil amb bioetanol que per alimentar-ne el propietari. La quantitat de cereals requerida per produir l'etanol necessari per omplir un dipòsit de 70 L equival al cereal que alimenta una persona durant quatre mesos. Si els EUA dediquessin tota la seva producció de cereals a la producció de bioetanol, satisfarien menys del 16 % de les necessitats energètiques del seu parc automobilístic. Si tota la producció mundial de blat de moro es destinés a la fabricació de bioetanol es produirien 211.000 milions de litres d'etanol, l'energia dels quals equival a

139.000 milions de litres de benzina o, el que és el mateix, a 874 milions de barrils: el petroli que cremem en deu dies! La conclusió no pot ser més rotunda: desabastir el món de tots els seus cereals només ens permetria produir l'equivalent al petroli que cremem en un mes.

Malgrat aquest panorama, cada cop es destina més gra a la producció d'etanol, la producció mundial del qual augmenta exponencialment (fig. 3). Actualment, destinem 15 milions d'hectàrees de superfície agrícola per produir-ne, fet que afecta el preu de les matèries primeres. L'escalada dels preus agrícoles, impulsada en part per les expectatives dels biocombustibles, ha posat aquests productes fora de l'abast de les economies dels sectors econòmicament més febles de molts països. La competència entre els biocombustibles i els aliments tot just ha començat, impulsada per unes administracions nacionals i supranacionals que assignen subsidis als primers i que són incapaces de posar sobre la taula plans coherents d'abastiment de matèries primeres compatibles amb les necessitats de productes agrícoles per a l'alimentació i amb la conservació del medi. El dia a dia demostra que el problema ambiental més greu al qual s'enfronta la humanitat, el canvi climàtic, no té cabuda real a les agendes polítiques, més enllà de les declaracions formals buides de contingut. El terme *sostenibilitat*, que tan imponent sona en boca dels polítics, no es pot aplicar als biocombustibles. I

#### Referències bibliogràfiques

- BROWN, L. R. (2006). «Supermarkets and Service Stations Now Competing for Grain». *Earth Policy Institute*. Disponible a: <<http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update55.htm>>.
- BRYCE, R. (2007). *Food or Fuel?* Energy Tribune: Houston, p. 11.
- CLEVELAND, C. J. (1984). «Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective». *Science*, vol. 225, núm. 4665, p. 890-897.
- CUTLER, J. [et al.] (2006). «Energy returns on ethanol production». *Science*, vol. 312, p. 1746-1748.
- HILL, J.; NELSON, E. [et al.] (2006). «From the Cover: Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, núm. 30, p. 11206-11210.
- LYND, L. [et al.] (2006). «Energy returns on ethanol production». *Science*, vol. 251, p. 1318-1323.
- PATZEK, L. J.; Patzek, T. W. (2007). *The Disastrous Local and Global Impacts of Tropical Biofuel Production*. Energy Tribune: Houston, p. 22.
- PATZEK, T. W. (2004). «Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle». *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 23, núm. 6, p. 519-567.
- (2006). «A First-Law Thermodynamic Analysis of the Corn-Ethanol Cycle». *Natural Resources Research*, vol. 15, núm. 4, p. 255-270.
- PATZEK, T. W.; Antú, S. M. [et al.] (2005). «Ethanol From Corn: Clean Renewable Fuel for the Future, or Drain on Our Resources and Pockets?». *Environment, Development and Sustainability*, vol. 7, núm. 3, p. 319-336.
- PIMENTEL, D.; LAL, R. (2007). «Biofuels and the environment». *Science*, vol. 317, núm. 5840, p. 897-897.
- PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. (2006). «Green plants, fossil fuels, and now biofuels». *Bioscience*, vol. 56, núm. 11, p. 875-875.
- RICHTER, B. (2004). «Using ethanol as an energy source». *Science*, vol. 305, núm. 5682, p. 340-340.
- SCHMIDT, L. D. (2004). «Using ethanol as an energy source - Response». *Science*, vol. 305, núm. 5682, p. 340-340.

#### Carles Gracia

(Saragossa, 1951)



Carles Gracia és professor titular al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona i investigador del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). El seu camp d'activitat se centra en l'ecologia forestal, concretament en la producció primària, els balanços d'aigua i carboni i les respostes ecofisiològiques dels boscos al canvi climàtic. És coautor de GOTILWA+, un model mecanicista que simula el creixement dels boscos sota diferents escenaris de gestió o de canvi climàtic. Ha estat vicepresident de l'Associación Española de Ecología Terrestre (AEET) i vocal de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF). És membre del Consell de Direcció del CREAF en representació de la Universitat de Barcelona. Forma part del Grup d'Experts de Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC); és membre del Comitè Científic Assessor de l'Institut Forestal Europeu (EFI), i és assessor de l'Oficina Regional Mediterrània (EFIMED) del mateix organisme europeu.