

L'AGRICULTURA D'AHIR O DE DEMÀ

Lowell Lewis*

RESUM

En aquests moments, a començaments del segle XXI, la recerca i la transferència en l'agricultura catalana té al davant nous reptes i noves oportunitats més enllà de les nostres previsions.

Els avenços en les tecnologies de la comunicació i el transport han unit l'agricultura catalana amb els mercats europeus i mediterranis de l'alimentació. La creació de la Unió Europea i de la moneda única i l'expansió d'aquella a d'altres països europeus condueix a un mercat econòmic continuat de productes agrícoles entre les fronteres europees.

Aquests factors representen noves oportunitats. L'agricultura catalana està ben situada per aprofitar la demanda creixent de productes alimentaris i hortícoles d'alt valor als països que creixen ràpidament entorn de la regió mediterrània. Per assolir aquest objectiu, és necessari continuar estimulant la ciència i l'educació i augmentar els recursos en recerca i transferència tecnològica. Aquest no és un repte nou, però mantenir una agricultura competitiva en la

propera centúria serà més complex i difícil que en la passada.

Aquesta complexitat es demostra amb un nou vocabulari, amb paraules com ara *Internet, World Wide Web, comerç electrònic, organismes modificats genèticament, Dolly, intel·ligència artificial, sostenibilitat ecològica, socioeconòmic, ètic, seqüenciació gènica, biodiversitat, canvi global*, etc. Aquests termes ens han de fer pensar que hem de tenir en consideració una llista més llarga de factors que en èpoques passades. Nosaltres tenim eines més potents per millorar la producció de plantes i d'aliments, però la major part representen un trencament respecte als sistemes tradicionals. Hem accelerat les comunicacions i la informació, fets que poden ser vàlids o discutibles, fins a un ritme que supera la nostra capacitat d'aprenentatge. La rapidesa dels viatges i dels transports permet el moviment de la gent i dels organismes a través del món. La creixent població té una demanda en aliments, medicines, treball i educació més enllà de la nostra capacitat per satisfer-la.

L'èmfasi en la productivitat de les explotacions, per exemple, ha de tenir en compte de manera explícita els ob-

* Universitat de Califòrnia.

jectius de la societat en relació amb la qualitat ambiental i la seguretat alimentària.

La producció agrària i de la recerca i la transferència tecnològica s'hauran de modelar en un context més ampli que asseguri un sistema econòmicament reeixit però ecològicament i socialment acceptable.

Això vol dir que cal trobar un equilibri entre els objectius de competitivitat, la sostenibilitat dels recursos naturals, la qualitat ambiental, la seguretat alimentària i el benestar dels consumidors i de les comunitats que actuen de nexes entre l'agricultura i la ciutat, així com entre els productors mateixos. El vell objectiu de la recerca («obtenir dues fulles d'herba on abans només en creixia una») ja no serà vàlid. Els avenços en la biologia i en les ciències de la informació han col·locat els fonaments d'una potencial nova «revolució» agrícola. Serà una revolta que, finalment, eclipsarà l'obtinguda durant la centúria passada lligada a l'enginyeria i la química, però exigirà utilitzar habilitats i aplicar una interacció amb la societat més enllà del que hem conegut en el passat.

Mai el món no havia necessitat tant la nostra recerca i la nostra capacitat d'adaptació com ara, però mai com ara els consumidors no havien estat tan escèptics. Necessitem tenir en consideració cada un dels possibles efectes dels nostres nous descobriments abans d'imposar-los a la societat.

Les noves tecnologies sobre la manipulació genètica no són les prime-

res que han tingut incidència en la producció d'aliments en els deu mil anys d'història de l'agricultura. Des del moment que nosaltres mengem tres o quatre vegades al dia, la seguretat i la qualitat nutritiva de l'aliment és molt important per a nosaltres. Les religions i les limitacions culturals en la utilització de certs productes alimentaris han sorgit sovint per protegir la gent de les malalties. Per això, no és sorprenent que una tecnologia tan revolucionària com l'enginyeria genètica molecular aplicada al subministrament diari d'aliment sigui vist amb inquietud i, fins i tot, compti amb l'oposició de molta gent. És la nostra responsabilitat entendre la naturalesa real d'aquestes noves tècniques; llavors, nosaltres mateixos sabrem quan és necessària la prudència, i podrem ajudar els altres a entendre els aspectes inquietants i les situacions en les quals els beneficis superen els riscos.

De la mateixa manera que d'altres tecnologies, la domesticació de les plantes i dels animals, la mecanització, la utilització de fertilitzants i pesticides, l'aplicació de les noves eines genètiques comporta riscos i beneficis. Nosaltres vivim en un món d'una creixent complexitat, en el qual hem de prendre decisions sobre temes tècnics molt complexos i sovint nosaltres no estem suficientment preparats ni tenim les dades necessàries per prendre decisions amb prou coneixement. Per això és indispensable que cada un de nosaltres analitzi el que escriu, els programes d'educació de les nostres escoles i universitats i les doctrines dels governs, i preguntin si aquests òrgans ens donen l'educació que necessitem per prepa-

rar-nos per fer les adequades valoracions de la ciència moderna en agricultura, medicina i medi ambient.

L'ús de les noves tecnologies per produir aliments i vestits

Els aliments que mengem actualment i les plantes de què provenen no s'assemblen a les que tenien els nostres predecessors. Com ho hem fet per tenir plantes tan diverses i productives? Tenim un abundant, atractiu i plaent subministrament d'aliments a conseqüència de la intervenció de l'home des de l'inici de l'agricultura en el context d'un intercanvi natural d'informació entre plantes i animals.

Pràcticament, tots els fruits i els altres vegetals disponibles en els mercats dels Estats Units són la conseqüència d'algun tipus de manipulació genètica. Cada producte alimentari té el potencial d'una gran diversitat genètica. Les tomates i el blat de moro en són bons exemples.

Una panotxa de blat de moro modern té les sements que la planta produeix per ser capaç d'assegurar una nova generació. Però el blat de moro domesticat és ben diferent del silvestre, l'original del qual ja no es pot trobar. Un dels gèneres més antics i prosperos al blat de moro, anomenat *Tripsacum*, no s'assembla gens a l'actual: s'assembla més a un tipus d'herba amb tiges llargues i fines.

L'estructura de les seves sements, la font nutricional més important del blat de moro, és diferent en la forma i el

contingut. Des del punt de vista de la nova agricultura, la principal diferència entre les dues plantes és que el blat de moro modern és més molt més productiu i més nutritiu.

Mentre que el *Tripsacum* produeix de deu a vint sements per planta, els híbrids moderns de blat de moro produeixen diferents panotxes, cada una de les quals amb més de mil sements. A més, les sements del *Tripsacum* són molt menys nutritives; es necessita un martell per trencar la cobertura de la sement i aprofitar el seu contingut, la qual cosa la major part dels nostres estòmacs són incapaços de fer.

L'impacte de la millora genètica sobre la productivitat es pot il·lustrar amb exemples més recents. Cap al 1930 els Estats Units necessitaven 379 milions d'acres (620,7 milions d'hectàrees) per alimentar aproximadament 100 milions de persones, mentre que l'any 1984 sols eren necessaris 100 milions d'acres (40,47 milions d'hectàrees).

Hem fet una millora genètica durant molts anys. Per què ens preocupa tant ara?

Els anteriors mètodes per intercanviar gens en les plantes i en els animals es limitaven a intercanvis entre emparentats pròxims, fet que es produïa gràcies a les mans i els ulls curiosos dels seleccionadors. Amb les noves tecnologies, els mètodes són més precisos, i l'anomenat *millorador molecular* pot controlar tant la informació que s'intercanvia com l'origen vegetal, animal o provinent de bacteris dels gens.

El millorador molecular pot eliminar informació genètica: l'objectiu és augmentar el contingut de sucre a les tomates. En aquest cas, els investigadors estudiaren la composició genètica lligada al fruit de les tomateres i eliminaren una petita part de la informació genètica (la qual era responsable de la baixada dels sucres). A través de les tècniques modernes de genètica molecular som capaços de suprimir aquest gen mitjançant l'addició d'un gen complementari que tanca el procés que produeix l'enzim degradador del sucre.

Un avantatge adicional en aquest cas és que es coneix exactament el que s'ha variat, a diferència dels mètodes clàssics, amb els quals es coneix molt poc en relació amb la informació que hem canviat. L'única cosa que coneixíem és que la tomata resultant tenia, com a característica, una elevada quantitat de sucre.

La pseudomònoda «menys glaç» és un altre exemple de l'eliminació d'un gen simple que protegeix la planta de la congelació. Quan les plantes tendres se sotmeten a una temperatura de cinc graus centígrads sota zero, normalment moren. El motiu és que el bacteri *Pseudomonas* cobreix la planta i converteix el seu nucli en l'inici de la congelació. Llavors apareixen congelacions d'aigua entorn del nucli, les quals punxen les cèl·lules i maten les plantes. Si, mitjançant un antibiòtic, traiem les pseudomònodes, les plantes sobreviuran a més de cinc graus centígrads sota zero. Aquest factor de «nucleació» es pot suprimir si s'elimina un gen simple per crear una població de bacteris «menys glaç» que protegiran la planta.

Un producte que és al mercat des de fa un cert temps és el formatge fet a partir de renina o quimosina obtingudes per enginyeria genètica. Prop del 50-60 % del formatge es fa amb un coagulador de la llet provinent dels estòmacs de les vaques. Avui es pot obtenir renina aïllada a partir d'un bacteri amb un gen que, per enginyeria genètica, prové d'una vaca i li permet produir renina. Als vegetarians els sembla millor aquest sistema.

És molt desitjable conèixer quins gens i quins cromosomes són responsables de les característiques dels organismes que es volen manipular. La identificació del gen per a la resistència a nematodes en les tomates permet el desenvolupament de noves varietats de tomates resistents als nematodes en un termini de dos anys, en lloc dels quaranta anys que els seleccionadors han necessitat fins ara.

Altres tipus de tècniques de diagnòstic basades en les noves tecnologies en àrees no clíniques de la salut alimentària i en la diagnòsi agrícola s'han desenvolupat recentment per un valor d'un bilió de dòlars. En el sector alimentari, aquests mètodes s'utilitzen per detectar toxines naturals, organismes causants de malalties i pesticides.

En el camp agrícola, aquests tests de sensibilitat permeten la identificació precoç de les malalties de les plantes, així com l'aplicació de mesures de control, la qual cosa facilita la reducció de la quantitat de productes químics aplicats al conreu i permet un millor control de les malalties. Es col·loquen extractes de plantes en una bossa i s'hi

pot aplicar un sistema de detecció per colors: en les bosses de color groc es detecta la presència de la malaltia. El control ambiental amb aquests sistemes de diagnosi és també una tecnologia que donarà un gran salt en la propera dècada.

Moltes plantes salvatges han desenvolupat mecanismes per defensar-se dels atacs de fongs i bacteris, però aquesta capacitat es pot haver perdut durant el procés de selecció. Algunes estratègies d'enginyeria genètica tracten de produir de manera natural una gran quantitat d'aquests components en diferents moments i en diferents teixits. La tomata n'és un exemple clàssic: les espècies salvatges tenen, com a mínim, trenta-dos *loci* de resistència a malalties.

Les plantes de tabac són plantes que sovint s'utilitzen com a model, ja que és fàcil d'introduir-hi gens. El tabac ha estat utilitzat en l'àmbit de l'enginyeria genètica contra agents fúngics causants de la malaltia de les «taques en forma d'ull de gripau» de les fulles. En aquest cas, un gen present a les plantes es pot produir en grans quantitats. La resistència a les malalties virals és un problema perquè, en la major part dels casos, els milloradors de plantes tenen pocs mecanismes per trobar sistemes de protecció natural. Els efectes de les malalties virals s'estima en unes pèrdues al voltant del 20 % de la baixada de la producció dels conreus. Un sistema per protegir les plantes mitjançant l'enginyeria genètica utilitza el sistema anomenat «de la proteïna de cobertura» del virus. Amb aquest mètode, un gen simple del mateix virus s'insereix en el

genoma de la planta. Això fa que el virus no pugui multiplicar-se i pugui causar els símptomes de la malaltia. La inserció de la proteïna de protecció en les carabasses i síndries els protegeix contra el virus del mosaic de la síndria de tipus 2 i del mosaic groc *Zenucchi*. Aquestes dues malalties poden causar unes pèrdues del 60-70 %. Aquesta tècnica pot també utilitzar-se per protegir les tomates contra els virus X i Y.

Noves varietats de conreus ornamentals s'han desenvolupat amb canvis en un sol gen, com pot ser el cas de les petúnies multicolors i els canvis en el color de les varietats de flors.

Les plantes poden ser també utilitzades com a «plantes fàbrica» o com a «granges» per obtenir productes que replacin els que s'obtenen a partir de recursos no renovables. Un exemple en són les plantes que produeixen plàstic termoestables i biodegradables.

Una àrea que té un interès i un futur especialment interessants és la de la protecció de les plantes davant les malalties. La protecció dels conreus pel que fa a les malalties i als insectes s'ha dut a terme en les darreres dècades mitjançant agents de control químic (pesticides i fungicides). A conseqüència de la pressió pública, molts d'aquests productes químics s'han retirat del mercat i el seu ús s'ha reduït dràsticament. Les empreses que produeixen pesticides no tenen actualment productes que s'utilitzen en conreus de poca superfície. Els agricultors busquen noves opcions, i les noves eines de la biotecnologia generaran alternatives efectives que podran ser utilitzades soles o conjunta-

ment amb altres alternatives. Una tècnica possible és l'anomenada *sistema Bt*, que es basa en la introducció en les plantes d'un gen bacterià amb un component insecticida que permet que les plantes resisteixin la invasió de malalties. Els jardiners han utilitzat el *Bt* o *Bacillus turingensis* durant molts anys per protegir les seves plantes contra els insectes. En les estratègies d'enginyeria genètica, la capacitat de produir aquest component ha estat incorporada a la mateixa planta. Aquest sistema s'utilitza en el cotó, la tomata, el blat de moro i la nou. A més, l'addició d'aquest gen simple protegeix el cotó contra els atacs de diferents tipus de cucs (*Heliothis sp.*).

Aproximadament, el 40 % dels insecticides utilitzats als Estats Units (EUA) s'apliquen al cotó, i s'estima que la introducció d'aquest gen simple pot reduir l'aplicació d'insecticides en un 10-20 %. Aquesta varietat, anomenada *BollGard™*, va ser aprovada als EUA al final de l'any 1995. La plantació de cotó *Bt* ha reduït en 450.000 kg la utilització d'insecticides.

Les plantes s'han modificat genèticament perquè tolerin condicions mediambientals adverses, com ara l'elevada concentració de sal de certes regions del delta de Califòrnia. Les plantes de tabac (utilitzades com a model) han estat modificades de manera que produeixin una quantitat superior d'un component que normalment generen, i malgrat que encara s'està en una fase molt inicial de l'estudi, les plantes són capaces de créixer i reproduir-se en aigua salada. Aquesta estratègia ha estat aplicada al tabac només per la facilitat d'introduir el gen. Quan aquest sistema

estigui ben verificat en el tabac, els gens podran introduir-se en conreus importants des del punt de vista agronòmic.

L'etanol és un additiu de la gasolina. Els bacteris transformats genèticament són capaços de convertir les restes agrícoles i de fàbriques de paper, papers de diari, restes de blat de moro i polpa de paper en etanol barat. Una planta pilot de Nova York anuncia que és capaç de produir etanol, que pot ser utilitzat com a substitut de la gasolina, a un preu de 25 pessetes per litre.

És possible millorar el medi ambient extraient els metalls i els contaminants del sòl. Algunes zones agrícoles de Califòrnia tenen un excés de seleni. Moltes antigues zones de fàbriques tenen restes de metalls. Plantes i bacteris han estat modificats genèticament perquè concentrin aquests metalls en grans quantitats. Els microorganismes, dotats «d'esponges químiques», acumulen metalls en les seves cèl·lules amb nivells superiors als del sòl fins al 2 % del seu pes sec. Hi ha plantes que de manera natural acumulen seleni de les aigües dels dipòsits de les refineries i en passen en forma gasosa a l'atmosfera. L'enginyeria genètica pot ser utilitzada per augmentar l'eficiència d'aquest procés.

Els grans de cereals tenen una font incompleta de nutrients i es combinen amb les mongetes en molts conreus per obtenir una nutrició completa. Els cereals s'han millorat genèticament per augmentar-ne la qualitat nutritiva, ja que contenen tots els aminoàcids essencials. Això s'ha obtingut identificant productes naturals en els cereals que

poden produir-se en elevades quantitats i compensar aquestes deficiències.

L'arròs causa moltes al·lèrgies a la Xina si els nens s'exposen a aquest cereal de petits i són propensos a desenvolupar al·lèrgies als aliments. Una situació comparable és la dels EUA amb les al·lèrgies al blat. A la Xina, un grup de científics han obtingut una varietat d'arròs amb un nivell baix d'agents al·lèrgics, a partir de la identificació del sistema d'inhibició de la síntesi de productes que causen les al·lèrgies, i han creat una varietat hipoal·lèrgica d'arròs.

La meitat de la població mundial menja arròs diàriament i constitueix un component bàsic de la seva dieta, malgrat la pobresa que té en alguns micronutrients i vitamines. Al sud-est asiàtic, el 70 % dels nens de fins a cinc anys pateixen una deficiència en vitamina A. Ja que els humans produïm vitamina A a partir del β -carotè, els científics han decidit provar d'obtenir arròs que produeixi aquest component. La via per produir carotè és molt complexa, però l'any passat la Unió Europea va anunciar que investigadors alemanys i suïssos han obtingut un tipus d'arròs que produeix β -carotè. Aquest any han hagut d'abandonar les seves recerques a conseqüència de les opinions públiques en relació amb l'enginyeria genètica.

Encara que es coneix des de fa temps, tan sols recentment s'ha anunciat que les plantes poden produir interessants i útils productes farmacèutics. Aquestes aproximacions, englobades dins l'*etnobotànica*, i que sovint requereixen el coneixement de les bases de la medicina tradicional, han permès la identificació d'una gran va-

rietat de nous productes farmacèutics. L'exemple més sorprenent d'aquesta recerca recent farmacèutica en les plantes és el *taxol*, que pot ser beneficiós per certs tipus de càncer. Actualment la síntesi d'aquest component no es pot fer, però es pot obtenir a partir del tronc o de les espines del teix del Pacífic. Ara el teixits del teix del Pacífic han estat introduïts en cultius de laboratori, i aquestes noves línies de teixits han estat utilitzades per produir petites quantitats de taxol. A mesura que es va coneixent el camí de biosíntesi d'aquest compost farmacèutic, aquestes línies genètiques poden ser modificades per produir taxol o d'altres derivats en grans quantitats.

Hi ha també exemples d'enginyeria genètica aplicada als peixos. Hi ha salmons modificats per l'enginyeria genètica anomenada *AquAdvange™* que augmenten el seu creixement fins al pes comercial. Als catorze mesos, els peixos modificats pesen vuit lliures (3,2 quilograms) en lloc dels seus contemporanis normals, els quals pesen menys d'una lliura (quatre-cents grams).

L'ús de les tecnologies de recombinació s'utilitza també per produir vacunes millorades; per exemple, contra el virus *rinder* del vaquí. Les actuals vacunes contra la malaltia de Marek en pollastres a vegades són poc eficients a conseqüència de les reaccions adverses dels animals injectats, del cost de la producció o de la seva inestabilitat al llarg del temps. Les noves vacunes recombinants són més àmplies pel que fa a la protecció, més fàcils de produir i més estables. S'espera que es pugin incorporar en una sola vacuna recombinant proteccions contra múltiples ma-

lalties i que siguin més eficients en la protecció dels animals.

Hi ha també sistemes de diagnosi en animals que poden ser utilitzats per detectar i seguir les malalties, i també poden ser utilitzats en les tècniques de selecció. La utilització de la tecnologia del DNA recombinant per al mapatge genòmic pot afavorir els sistemes tradicionals de millora.

Aquest procés implica el desenvolupament de mapes detallats de la informació genètica de les espècies animals utilitzant la tècnica de l'empremta de DNA. Aquests mapes inclouen marques específiques, segons les característiques del DNA, que indiquen als milloradors quines parts del genoma són responsables de certes característiques, per exemple, d'un augment de la producció lletera en les vaques. Es pot utilitzar aquesta informació per facilitar les tècniques de millora. Després de fer un encreuament, només cal observar les característiques del DNA en la descendència per saber quin animal tindrà millor producció de llet. Això evita haver d'esperar que les vaques arribin a la maduresa per comprovar-ne la producció lletera. Hi ha també algunes aplicacions del mapatge del genoma que permeten saber l'existència de malalties latents i la susceptibilitat a les malalties en els animals.

Hi ha també exemples d'utilització en animals que impliquen la modificació de l'animal mateix. Això permet una producció més eficient de productes farmacèutics, com pot ser la producció d'hormones, de proteïnes o de moduladors hormonal; per exemple, els ani-

mals transgènics que poden ser utilitzats per a la producció de productes farmacèutics utilitzats en humans. L'activador del plasminogen dels teixits o TPA, que pot ser utilitzat per dissoldre els coàguls en els atacs de cor, s'obté habitualment de bacteris recombinants. Aquest procés costa milers de dòlars per cada gram. Actualment, els investigadors poden, a partir d'una cabra modificada genèticament, obtenir TPA en la seva llet en una quantitat de tres grams per litre, una elevada quantitat en relació amb els estàndards biotecnològics. Una sola cabra es creu que pot arribar a donar tant de TPA com mil litres de ferment.

En resum, esperem que els productes obtinguts amb l'enginyeria genètica tindran un gran impacte en l'agricultura. Algunes d'aquestes modificacions resulten de l'alteració dels gens que són presents actualment en les plantes, com poden ser gens per augmentar la producció o per a la protecció natural de les plantes, o de l'eliminació de certs gens, com els que faciliten una més gran durada de les fruites i de les verdures. Altres requereixen la importació d'altres gens d'altres fonts, com és el cas de la protecció contra els insectes o contra certs fongs.

Algunes d'aquestes possibilitats es veuran més aviat que d'altres, però en tot cas tindran un gran impacte en l'agricultura. Els productes de l'enginyeria genètica no seran les boles màgiques que resoldran tots els problemes de l'agricultura, però poden ser eines valuoses utilitzables de manera combinada amb altres mètodes clàssics o moderns per respondre als reptes de l'agricultura

del segle XXI. Tenint en compte que hi ha molt més del que coneixem sobre aquestes tècniques, hem de sospesar-les en relació amb les eines que tenim per satisfer aquests reptes. Hem de recordar que, amb l'ús d'aquestes noves eines, tenim la responsabilitat d'educar la societat, assegurar la seguretat en el subministrament d'aliments i tenir cura del medi.

La societat no tolerarà acceptar el risc d'un nou aliment si pensa que això només beneficia l'agricultor o l'empresa de biotecnologia. La gent té el dret de comprendre la totalitat de la situació i tots els riscos i beneficis.

El nostre repte és mantenir una agricultura que sigui econòmicament satisfactòria i acceptable socialment des d'un punt de vista mediambiental.