

## COEXISTÈNCIA DE CULTIUS TRANSGÈNICS I CONVENCIONALS

JOAQUIMA MESSEGUER I ENRIC MELÉ

*Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària, Genètica Vegetal, Centre de Cabrils*

Adreça per a la correspondència: Joaquima Messeguer. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària, Centre de Cabrils. Ctra. de Cabrils, km 2. 08348 Cabrils.  
Tel.: 937 507 511, ext. 1232. Adreça electrònica: [joaquima.messeguer@irta.cat](mailto:joaquima.messeguer@irta.cat).

### RESUM

La comercialització de cultius transgènics ha determinat que la Unió Europea doni les directrius per a l'elaboració d'estratègies i millores pràctiques per tal de garantir la coexistència dels cultius modificats genèticament (MG) amb els altres sistemes de producció, i ha establert el llindar del 0,9 % de contingut accidental de transgènic perquè la producció s'hagi d'etiquetar com a tal. Cada país ha de fer la seva normativa, basada en dades científiques fiables i adaptada a les pràctiques culturals de cada cultiu.

Entre tots els factors que poden incidir en la presència accidental de transgènic en un camp convencional destaca el flux de gens, produït per la pollinització creuada, ja que és el més difícil de controlar. Es descriuen dos exemples, l'arròs i el blat de moro, en què la investigació portada a terme demostra que la coexistència és possible. En el cas de l'arròs, atès que s'autofecunda, el risc de pollinització creuada és molt baix, per la qual cosa pràcticament no caldria cap mesura de contenció, encara que caldria establir mesures per controlar l'arròs salvatge. En canvi, en el cas del blat de moro, que es pollinitza amb el vent, cal establir estratègies de contenció com serien distàncies de seguretat (entorn dels 20 m) o separació de les dates de floració.

**Paraules clau:** coexistència, cultiu transgènic, flux de gens, arròs, blat de moro.

## COEXISTENCE BETWEEN TRANSGENIC AND CONVENTIONAL CROPS

### SUMMARY

The marketing of GM crops has determined the European Union to set guidelines for the development of strategies and best practices to ensure coexistence from genetically modified crop with other production systems, and so has established the 0.9% threshold

for adventitious GM content for production to be labeled as GM. Each country must make its rules based on reliable scientific data and adapted to the cultural practices of each crop.

Among the factors that can determine the adventitious presence of GM in a conventional field, gene flow produced by cross pollination is one of the most important, because it is quite difficult to control. We describe here two examples, rice and maize, in which scientific results show that coexistence is possible. In case of rice, because is a self-pollinating plant, the risk of gene flow is extremely low in practice and so, containment strategies might not be necessary, but wild rice should be controlled. On the other hand, for a wind-pollinated plant such as maize, containment strategies should be set up (separation distances about 20 m or/and flowering delay) to ensure coexistence.

**Key words:** coexistence, transgenic crop, gene flow, rice, maize.

## INTRODUCCIÓ

Els cultius anomenats *transgènics* o *modificats genèticament* (MG) es van començar a comercialitzar l'any 1996 i l'any 2008 ja ocupaven 125 milions d'hectàrees (ISAAA, 2009), que correspon al 8 % de la superfície mundial cultivada. La soja és el principal cultiu transgènic, seguida del blat de moro, el cotó i la colza. Dels vint-i-cinc països que en van cultivar al 2008, quinze estan en vies de desenvolupament i deu són industrialitzats. De fet, els principals països productors de transgènics són els Estats Units, l'Argentina, el Brasil, el Canadà i la Xina.

Europa continua sent el continent on menys transgènics es cultiven. L'única espècie MG autoritzada per al cultiu a la Unió Europea (UE) és el blat de moro Bt (*Bacillus thuringensis*). Aquest blat de moro és resistent als barrinadors *Ostrinia nubilalis* Lef. i *Sesamia nonagrioides* Hbn. i, per tant, es cultiva principalment en aquelles zones on aquesta plaga és present. El 2008 el blat de moro Bt es va cultivar a set països de la UE i va ocupar un total de 100.000 ha, de les quals 79.000 es van cultivar a Espanya i, d'aquestes, 20.000 a Catalunya (DAR, 2009; ISAAA, 2009; MARM, 2009).

La normativa europea que controla o minimitza els riscos que es podrien relacionar

amb el cultiu de plantes transgèniques és una de les més completes del món. Així, la Directiva 2001/18/CE (Comunitat Europea, 2001) regula la comercialització i l'alliberament controlat dels cultius transgènics i els reglaments 1229/2003 (Comissió Europea, 2003a) i 1830/2003 (Comissió Europea, 2003b) regulen els aliments i pinsos MG i també la traçabilitat i l'etiquetatge. La normativa 1829/2003 estableix el llindar del 0,9 % de contingut d'organisme modificat genèticament (OMG), per sobre del qual els cultius o productes derivats hauran de ser etiquetats com a transgènics.

Eventualment, es podria donar el cas que, per una presència accidental de transgènic, la producció d'un cultiu convencional o ecològic s'hagués d'etiquetar com a transgènica, sense que l'agricultor hagi pogut decidir si optava per aquesta opció o no. Davant d'aquesta situació, la UE va publicar el 2003 la Recomanació de la Comissió 2003/556/CE (Comunitat Europea, 2003), en la qual es donaven les directrius per a l'elaboració d'estratègies i millores pràctiques per tal de garantir la coexistència dels cultius MG amb els altres sistemes de producció. Cada país europeu ha d'elaborar les seves normatives de coexistència, adaptades a la seva situació i d'acord amb la recomanació de la Comissió.

## CONCEPTE DE COEXISTÈNCIA

La coexistència es refereix a la capacitat dels agricultors de poder escollir entre la producció convencional, l'ecològica o la de cultius MG, i les implicacions econòmiques que es deriven del cultiu conjunt en una zona determinada. Així, per exemple, el fet que un cultiu que no estava destinat a ser MG s'hagi d'etiquetar indicant que en conté, podria donar lloc a una pèrdua d'ingressos, en el cas que es vengués a un preu inferior en el mercat, o s'haguessin d'establir mesures de seguiment i de contenció per reduir al mínim la barreja entre cultius MG i no-MG. Per tant, la coexistència fa referència a les mesures de gestió viables per reduir al mínim aquestes barreges i també fa referència al cost econòmic d'aquestes mesures.

A la legislació europea queda molt clar que la coexistència es refereix solament a aspectes econòmics i no mediambientals ni sanitaris. Abans de la comercialització, els cultius MG passen per una exhaustiva avaluació mediambiental i sanitària que està regulada per la Directiva 2001/18/CE (Comunitat Europea, 2001).

El concepte de coexistència no és nou en agricultura. Durant diversos anys s'han cultivat a les mateixes zones i fins i tot a la mateixa explotació varietats en què la producció estava destinada a finalitats diferents, i de les quals es requeria una gran puresa. Per exemple, diversos tipus de blat de moro (varietats per a consum humà, producció de midó o crispetes) o de blat (varietats de blat dur o varietats per a pinso). Mitjançant l'aplicació de tècniques senzilles de contenció és possible obtenir un bon rendiment i amb alta puresa de la collita. En tots aquests casos de l'agricultura convencional, ja està assumit que sempre hi pot haver una barreja involuntària a causa de la impuresa de la llavor, la polli-

nització creuada, el maneig de la maquinària o durant el transport i l'emmagatzemament. Per això, per a cada cas en particular hi ha l·lindars determinats i al llarg dels anys s'han anat establint les estratègies agronòmiques i de postcollita per poder complir-los.

En el cas dels cultius MG la situació no és exactament igual que en el cas dels cultius convencionals. Si bé en la normativa europea es considera el dret de tots els agricultors a cultivar el que més els convingui, es recalca el dret que tenen els agricultors convencionals o ecològics de no haver d'etiquetar les seves collites com a transgèniques, és a dir, de tenir la garantia que les seves collites tindran un contingut de material transgènic inferior al 0,9 %. En aquest sentit les mesures de coexistència que s'hagin d'aplicar i el seu cost les haurà d'assumir «l'últim sistema de cultiu incorporat a la zona», és a dir, de aquells agricultors que vulguin cultivar plantes MG seran els que hauran d'aplicar les mesures de contenció i assumir les despeses derivades i les que es puguin ocasionar eventualment a causa d'una barreja accidental de les collites. Davant d'aquests condicionants, és important que la normativa de coexistència que s'estableixi a cada país i per a cada cultiu estigui molt ajustada a la realitat agrícola de les zones.

És important tenir en compte que la Resolució 2003/556/CE (Comunitat Europea, 2003) estableix que les mesures de gestió de la coexistència s'han de basar en dades científiques fiables sobre la probabilitat i les fonts de les barreges de cultius MG i no-MG. Això ha potenciat el desenvolupament de diversos projectes d'investigació, tant a escala nacional com a escala europea. Aquestes investigacions s'han portat a terme principalment en blat de moro —ja que és l'únic cultiu autoritzat a la UE— i en menor escala en colza, remo-

latxa, cotó i arròs, perquè són els cultius que probablement podrien ser autoritzats en els propers anys.

La presència accidental d'OGM en la collita d'un camp pot estar determinada per la puresa de les llavors, el flux de gens produït per la pollinització creuada, ja sigui cap als camps veïns o cap a males herbes o altres espècies compatibles, la presència de renadius de l'any anterior i les barreges produïdes pel fet de compartir la maquinària (sembradores, collidores, etc.) i l'emmagatzemament a les sitges. De tots aquests factors, el que més preocupa als pagesos és la pollinització creuada, ja que és el més difícil de controlar.

La taxa de pollinització creuada depèn fonamentalment del tipus de cultiu. Hi ha plantes que es pollinitzen amb el vent, els insectes o que s'autofecunden. En tots els casos, el pol·len produït per un camp veï competeix amb el pol·len que es produeix a dins del camp. Altres factors que poden influir en la taxa de pollinització creuada són les característiques del pol·len, com la viabilitat, la mida, etc. També tenen influència la compatibilitat entre les diferents varietats, les condicions meteorològiques i l'existència de barreres físiques que puguin dificultar el transport del pol·len. És evident que per poder elaborar una bona normativa de coexistència, s'han de fer estudis en cadascun dels conreus que tinguin en compte tots aquests factors que influeixen la pollinització creuada.

A tall d'exemple, presentem a continuació els estudis en què es podria basar la normativa de coexistència de dos cultius molt diferents. D'una banda tenim l'arròs, un cultiu que s'autopollinitza i que, per tant, té un risc de flux de gens molt baix. El cas oposat seria el blat de moro, ja que, com que es pollinitza amb el vent, el risc de flux de gens a través del pol·len és relativament elevat.

## COEXISTÈNCIA EN L'ARRÒS

L'arròs és una de les espècies cultivades en què més s'ha aplicat la biotecnologia moderna per tal d'obtenir plantes millorades genèticament. Així, s'han incorporat amb èxit gens que confereixen resistència a plagues, malalties víriques o fúngiques, resistència a herbicides, a condicions de salinitat o sequera, o que tenen altres qualitats nutritives. Alguns exemples serien els descrits per Yahiro *et al.* (1993), Huang *et al.* (2002), Potrykus (2002), Breitler *et al.* (2004), Song *et al.* (2004) i Quilis *et al.* (2008). Malgrat aquesta gran tasca de recerca, encara no hi ha al mercat cap tipus d'arròs transgènic per a producció comercial, però està previst començar a comercialitzar-ne ben aviat.

Les plantes d'arròs que produeixen pol·len viable tenen unes taxes d'encreuament gairebé inexistentes, encara que poden ser compatibles entre si quan els encreuaments es fan manualment. Això és degut al fet que l'arròs és una planta autògama que es propaga per llavors, produïdes per autopollinització. L'òvul i el pol·len maduren simultàniament i l'estigma de la flor rep majoritàriament el pol·len de la mateixa flor. A més, el període en què la flor està receptiva és força curt, entre 50 i 90 min (Khush, 1993) i quan els grans de pol·len es desprenen de l'antera, perden la viabilitat en 5 min, encara que excepcionalment poden romandre viables fins a uns 15 min.

Tradicionalment, els milloradors de l'arròs consideren que una distància d'aïllament de 10 m és suficient per evitar obtenir llavors híbrides produïdes pel pol·len dels camps adjacents (Khush, 1993). De tota manera, la probable comercialització d'arròs transgènic ha determinat la realització de tota una sèrie d'estudis per quantificar la pollinització creuada. A Europa, amb l'excepció d'un petit assaig fet a Itàlia l'any

1999, tots els assajos de quantificació de flux de gens els ha fet al delta de l'Ebre el nostre grup investigador.

El primer assaig (Messeguer *et al.*, 2001) es va fer amb plantes transgèniques de la varietat Thaibonnet resistents a l'herbicida glufosinat d'amoni. Se'n van plantar dos nuclis, al voltant dels quals es van plantar plantes no transgèniques de la mateixa varietat a 1 m de distància al primer nucli i a 5 m al segon nucli (vegeu la figura 1). Al moment de la collita, es van recollir les llavors planta per planta, anotant la posició que ocupaven en relació amb la rosa dels vents. L'anàlisi de més de 200.000 llavors va permetre detectar un flux de gens menor que el 0,1 % en les plantes situades a 1 m i que el 0,01 % en les situades a 5 m de

distància. El disseny circular de l'assaig va permetre determinar la influència del vent en la pollinització creuada.

En un segon assaig fet amb la varietat Senia resistent al glufosinat d'amoni i utilitzant també un assaig circular (Messeguer *et al.*, 2004), es va poder confirmar que el flux de gens decreix molt ràpidament amb la distància però a 10 m encara es va detectar una taxa de pollinització creuada del 0,001 % en la direcció del vent dominant (vegeu la figura 2). Aquests resultats coincideixen amb els que han trobat altres autors (Noldin *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2004; Song *et al.*, 2004; Rong *et al.*, 2005, 2007; Yao *et al.*, 2008).

Per tal d'establir una normativa de coexistència, calia comprovar aquests resultats



FIGURA 1. Vista general de l'assaig circular d'arròs. El nucli central transgènic està envoltat de plantes convencionals sembrades a cinc metres de distància. Al fons es veu l'altre nucli amb les plantes convencionals plantades només a un metre de distància.

en camps de dimensions comercials. Per això, es va fer un assaig de camp que tenia com a objectiu avaluar la distància de seguretat per contenir el flux de gens entre dos camps adjacents de dimensions comercials. En aquest mateix assaig, també es va plantejar avaluar l'eficàcia de barreres de contenció física en el control del flux genètic de plantes transgèniques a no transgèniques de la mateixa varietat. Els resultats obtinguts en aquest assaig (dades no publicades) confirmen els resultats dels assajos anteriors i demostren que el pol·len produït a l'interior del camp pràcticament no arriba a l'exterior, i si ho fa, ja no és viable. Això significa que en el cas de l'arròs, en què el flux de gens és extremadament baix, no seria necessari establir ni una barrera de protecció ni unes distàncies de seguretat per garantir que el contingut d'arròs MG en un camp convencional a causa de la pol·linització creuada sigui inferior al 0,9 % establert a la normativa europea.

Pel que fa a la compatibilitat amb altres espècies o plantes, a Europa hi ha una única mala herba compatible amb l'arròs, que és l'arròs salvatge o arròs roig. En general, les plantes són més altes i de maduració tardana; tenen les llavors amb el pericarpí vermellós, són dehiscent (cauen quan estan madures) i presenten dormància (poden quedar «adormides» al camp i germinar al cap d'uns quants anys). Es considera una mala herba perquè els grans són de menor qualitat i són difícils de separar dels de les varietats comercials, fet que es tradueix en una pèrdua de qualitat i rendibilitat del cultiu.

L'any 2000 ja es va fer una primera avaluació de la taxa de flux genètic de plantes transgèniques cap a l'arròs salvatge (Messeguer *et al.*, 2004). El flux detectat va ser de 0,13 % quan la distància era zero (plantes a tocar). És evident que en el cas de l'arròs salvatge, que creix entremig de les

plantes d'arròs, el vent dominant no té cap influència, ja que pot ser pollinitzat per totes les plantes que té al seu voltant. A la distància de 10 m ja no es detecta flux.

Encara que la taxa de flux genètic cap a l'arròs salvatge és força baixa, la importància ecològica dependrà de fins a quin punt els híbrids resultants romanen al camp durant cultius posteriors, malgrat que s'apliquin estratègies agronòmiques que en els cultius comercials s'han mostrat molt eficaces contra aquesta mala herba. En aquest sentit, s'ha fet un assaig durant tres anys orientat a determinar la taxa d'introgressió de transgens cap a l'arròs salvatge en funció de les tècniques agronòmiques més usuals per controlar aquesta mala herba. Els resultats preliminars que tenim demostren que tant la tècnica del fangueig com la de la inducció de germinació i el tractament posterior amb herbicida controlen molt bé l'arròs salvatge, i no es va detectar introgressió al cap de tres anys, mentre que a la parcel·la control on no es va fer cap tractament sí que se'n va detectar. Això implica que, en el moment que s'aprovi el cultiu comercial d'arròs transgènic i s'hagi d'establir una normativa de coexistència, haurà d'incloure l'aplicació d'alguna estratègia agronòmica per controlar l'arròs salvatge.

## EL BLAT DE MORO

El blat de moro pot estar afectat pels barinadors, que són larves de lepidòpters (*Ostrinia nubilalis* Lef. i *Sesamia nonagrioides* Hbn.). Aquestes larves penetren a la tija i també a la panotxa i fan grans galeries, fet que debilita la planta, disminueix la producció i afavoreix el creixement de fongs productors de micotoxines. Actualment es disposa de varietats comercials de blat de moro MG que tenen incorporat un gen

de *Bacillus thuringiensis*, correntment anomenat *Bt*, que les fa resistents als barrinadors perquè produeixen una  $\delta$ -endotoxina que és específica per als lepidòpters (Castañera i Ortego, 2000). Les primeres varietats de blat de moro Bt es van comercialitzar als Estats Units al 1996 i a Europa el 1998. A partir d'aquell moment es va començar a parlar de coexistència i de com calia regular-la.

A l'inici d'aquest article s'ha esmentat que entre els factors que determinen la presència accidental de blat de moro MG en la producció d'un camp convencional hi ha la puresa de les llavors. Mitjançant models de simulació s'ha comprovat que la contribució de la puresa de les llavors al

contingut de blat de moro MG és aproximadament additiva (Messéan *et al.*, 2006). Això vol dir que, per exemple, si la llavor de sembra té un 0,3 % de llavors MG, la producció del camp tindrà la mateixa proporció de blat de moro MG, que se sumaria a la que fos deguda a altres factors. Per això, les empreses productores han de garantir la puresa de les llavors. Malauradament, encara no s'ha arribat a un acord amb la UE respecte al grau de puresa que han de tenir les llavors per garantir la coexistència.

A diferència de l'arròs, el blat de moro és una espècie anemòfila, és a dir, que es pollinitza amb el vent. Els factors que més influeixen en la pollinització creuada són els

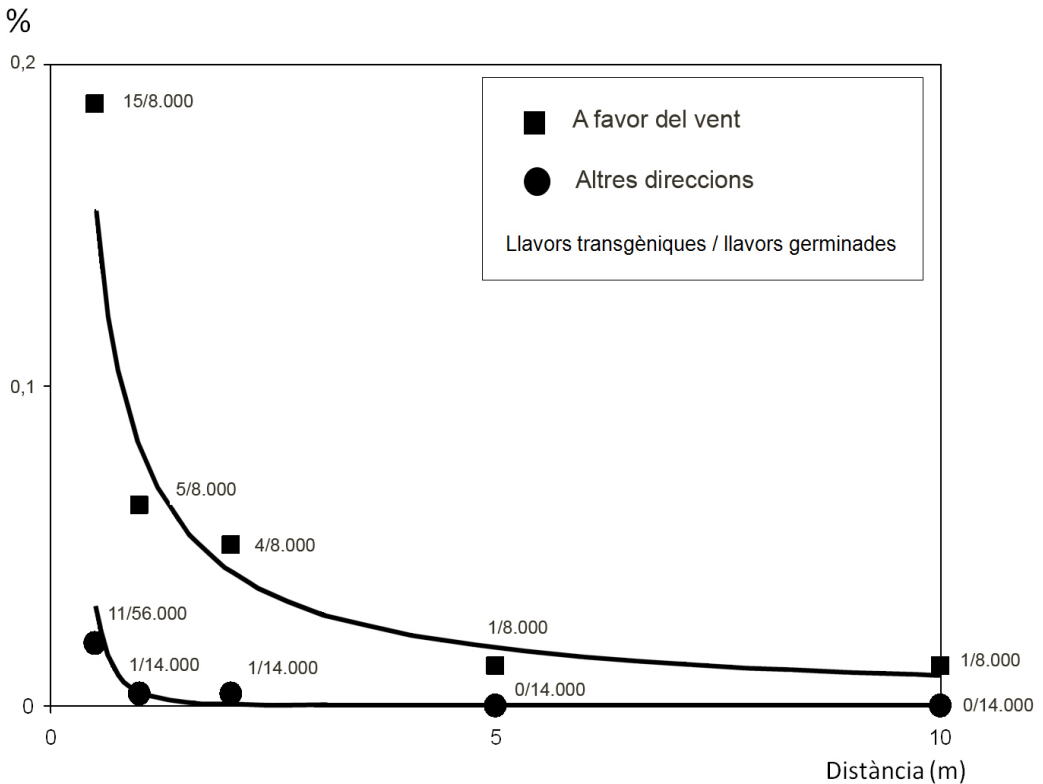


FIGURA 2. Variació del flux genètic entre varietats transgèniques i convencionals en funció de la distància.

que afecten la viabilitat i la dispersió del pol·len, la compatibilitat entre varietats, l'existència de barreres físiques, la coincidència de la floració i la distància entre camps. Una altra diferència remarcable amb l'arròs és que no hi ha a Europa cap mala herba ni cap espècie propera amb la qual es pugui encreuar, i per això la dispersió dels transgens cap a altres espècies compatibles no és possible.

La viabilitat i la dispersió del pol·len han estat força estudiades per poder portar a terme els programes de millora genètica clàssica i la producció de llavors comercials (vegeu les revisions d'Emberlin *et al.*, 1999; Treu i Emberlin, 2000; Brookes i Barfoot, 2004; Devos *et al.*, 2005). De fet, ja l'any 1950 Jones i Brooks van determinar que el percentatge d'encreuament que es pot trobar dins d'un camp està correlacionat amb la seva mida i la dels camps adjacents, i que els cinc primers solcs de la vora actuen com a barrera per a la dispersió del pol·len. L'any 2000 Ingram ja va determinar que una distància de separació de 200 m entre camps de 2 ha era suficient per poder garantir una puresa del 99,9 % de les llavors híbrides obtingudes.

La comercialització del blat de moro transgènic i la necessitat d'establir una normativa de coexistència han potenciat la realització de nombrosos estudis experimentals per quantificar el flux de gens i establir les mesures necessàries per poder garantir que el contingut accidental de blat de moro MG estigui per sota del llindar establert per la llei, que en el cas de la UE és del 0,9 %. Recentment Devos *et al.* (2009) han publicat una revisió en què se sintetitzen i comparen els estudis més rellevants. En tots es comprova la influència del vent dominant i que el flux de gens s'acumula a les vores del camp i decreix ràpidament cap a l'interior, a causa de la competència amb el pol·len produït pel camp mateix. Pel que fa

a les mesures de contenció, la distància de separació entre camps transgènics i convencionals per assolir una taxa de pollinització creuada menor que el 0,9 % es troba entre els 17,5 m (Della Porta *et al.*, 2006, 2008) i els 20-30 m (Weber *et al.*, 2007), encara que alguns autors consideren que en camps molt petits o estrets la distància potser s'hauria d'ampliar fins als 50 m o més (Devos, 2008).

Així però, és evident que el flux de gens pot estar influenciat per la climatologia i les pràctiques agrícoles de cada zona, i per això la normativa de coexistència s'haurà de basar en dades experimentals fiables obtingudes en les zones on s'aplicarà aquesta normativa.

Tal com s'ha comentat anteriorment, Espanya és l'únic país de la Unió Europea on des de l'any 1998 es cultiva una superfície significativa de blat de moro Bt. Aquell any es van aprovar dues varietats, Compa CB i Jordi CB, ambdues amb el Bt 176, però solament es va comercialitzar la varietat Compa CB, que és l'única que es va cultivar fins al 2003. Aquell any es van comercialitzar cinc varietats noves de blat de moro Bt produïdes per diferents companyies, però totes amb l'*event* Bt MON810 patentat per Monsanto. A partir d'aquell moment, el nombre de varietats comercialitzades s'ha anat incrementant fins arribar a les 123 varietats comercialitzades per 112 companyies l'any 2009 (MARM, 2009), totes amb el MON810, ja que la varietat amb el Bt 176 s'ha deixat de cultivar.

Durant tots aquests anys en què s'ha cultivat el blat de moro Bt, no hi ha hagut problemes remarcables de coexistència malgrat que no hi hagi una normativa que ho reguli. Això ha estat degut al fet que inicialment la comercialització d'aquestes varietats la van regular les companyies mateixes, i també perquè les cooperatives o grups d'agricultors s'han organitzat per



programar les sèmbrs de cultius Bt o convencionals i el blat de moro Bt que es comercialitza és per a la producció de pinsos o per ensitjar. El fet que als pinsos s'afegeixen proteïnes vegetals que provenen de la soja, majoritàriament transgènica, ha afavorit que en la pràctica no es facin diferències entre el blat de moro Bt i el convencional, de tal manera que els productors que han optat pel blat de moro Bt han pogut vendre la seva producció al mateix preu que el del blat de moro convencional (Alcalde i Pelaez, 2004).

Així però, la percepció pública dels cultius transgènics i la recomanació de la UE (Comunitat Europea, 2003) fan que ben aviat s'hagi d'establir una normativa que reguli el cultiu del blat de moro transgènic al nostre país i que estableixi les normes de coexistència, etiquetatge i traçabilitat. Per tal de disposar de dades experimentals fiables, ja l'any 2003 es van començar a fer tota una sèrie d'assajos de camp, coordinats pel Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació, l'associació de productors de llavors d'Espanya o l'IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries), en col·laboració amb el Departament d'Agricultura i Acció Rural (DAR) (vegeu Messguer i Melé, 2006). Aquests assajos estaven orientats a estudiar el flux de gens degut a la pollinització creuada i a l'establiment de distàncies de seguretat com a mesura per garantir la coexistència. Les conclusions de tots aquests assajos van ser prou clares i coincidents amb els assajos fets en altres països: el flux de gens s'acumula a les vores i decreix exponencialment a mesura que ens internem en el camp. Per a camps menors de 5 ha, una distància de 20-25 m seria suficient per tenir un contingut de blat de moro MG inferior al 0,9 %; si en comptes de distància parlem de zona tampó, en aquest cas una barrera de blat de moro de 16-20 regues seria suficient. En

camps de mides més grans (>5 ha) no seria necessari establir cap distància de seguretat, ja que el total de la producció estaria per sota del 0,9 % (Ortega Molina, 2006).

Un altre factor que ha estat menys estudiat és l'efecte de la coincidència de la floració entre camps. És evident que si els camps no floreixen alhora no hi podrà haver pollinització creuada, però calia establir quin grau de no-coincidència en la floració és suficient per garantir la coexistència, i també quina relació es podia establir entre les dates de sembra i les de floració. Així, a la zona de Foixà (Girona) es va fer un assaig de camp combinant tres dates de sembra i dues varietats, una transgènica, i l'altra, la convencional isogènica (Palaudermàs *et al.*, 2008b) (vegeu la figura 3). Els resultats obtinguts demostren que deu dies de decalatge en la floració són una bona estratègia per controlar la pollinització creuada, ja que el contingut de blat de moro MG al camp convencional és quasi inexistent. S'ha de tenir en compte que en les sèmbrs primerenques cal una diferència de sembra de més d'un mes per obtenir deu dies de separació en la floració, mentre que en sèmbrs tardanes vint dies de separació són suficients. Atès que a les zones mediterrànies hi ha una finestra molt àmplia per fer les sèmbrs (des del començament de març fins al final de maig), el decalatge en les dates de floració és una bona estratègia per garantir la coexistència.

Molts estudis fets sobre aquest tema es basen en assajos molt controlats i concrets, i això fa que s'hagi plantejat la necessitat d'estudiar el flux de gens en condicions reals de coexistència per veure fins a quin punt els resultats dels assajos de camp es poden extrapolar.

Dins d'aquesta línia de treball vam fer tota una sèrie d'estudis centrats en el flux de gens, en una situació real en què coexis-

teixen camps de blat de moro Bt i convencionals, juntament amb altres cultius. L'estudi, finançat pel projecte europeu SIG-MEA i per l'IRTA i el DAR, es va iniciar l'any 2004 i ha durat cinc anys. El primer any es van escollir dues zones de treball, una a Lleida i l'altra a Girona, mentre que els quatre anys restants solament es va fer el seguiment de la zona de Girona. Ambdues zones tenen una mida dels camps d'unes 2 ha de mitjana. Cada any es va identificar el tipus de cultiu (cereals, fruiters, blat de moro, guaret, etc.) i, més concretament, les varietats, dates de sembra i floració del panís (vegeu la figura 4). A partir d'aquestes dades es van seleccionar

uns quants camps convencionals, que es van mostrejar per analitzar-los per PCR quantitativa per determinar el contingut de blat de moro Bt (Messeguer *et al.*, 2006, 2008; Palau delmàs *et al.*, 2008a). L'anàlisi de les dades obtingudes demostra clarament que en la majoria de camps analitzats el contingut de blat de moro MG degut a la pol·linització creuada era inferior al 0,9 %, malgrat que no s'havia aplicat cap estratègia de contenció. De tots els factors que determinen la presència accidental de blat de moro MG en un camp convencional es va veure que els més importants són la distància entre els camps i la coincidència de la floració. En funció d'aquests paràmetres



FIGURA 3. Vista parcial de l'assaig per determinar la influència de les dates de sembra sobre la pol·linització creuada entre plantes de blat de moro transgèniques i convencionals.

vam establir un índex empíric anomenat *GI* (*global index*), que ens permet predir, abans de la collita, el contingut de blat de moro MG que es trobaria en un camp convencional. A més, l'aplicació d'aquest índex permet deduir que una distància de separació d'uns 20 m és suficient per evitar que la presència accidental de blat de moro MG en un camp convencional superi el 0,9 % en les zones estudiades. Per tant, es confirma que les dades obtingudes en els assajos de camp són totalment aplicables en condicions reals de coexistència.

Com ja s'ha descrit abans, la pollinització creuada s'acumula a les vores i decreix a mesura que ens endinsem en el camp. Això vol dir que els camps de dimensions petites representen el pitjor escenari pel que fa a la proporció del contingut d'OMG, ja que la contribució de les vores al total de la producció del camp és molt més elevada que en el cas de camps grans en què, encara que el perímetre augmenta, també augmenta molt més la proporció de pol·len produït pel camp mateix, que competeix amb el que ve de fora.

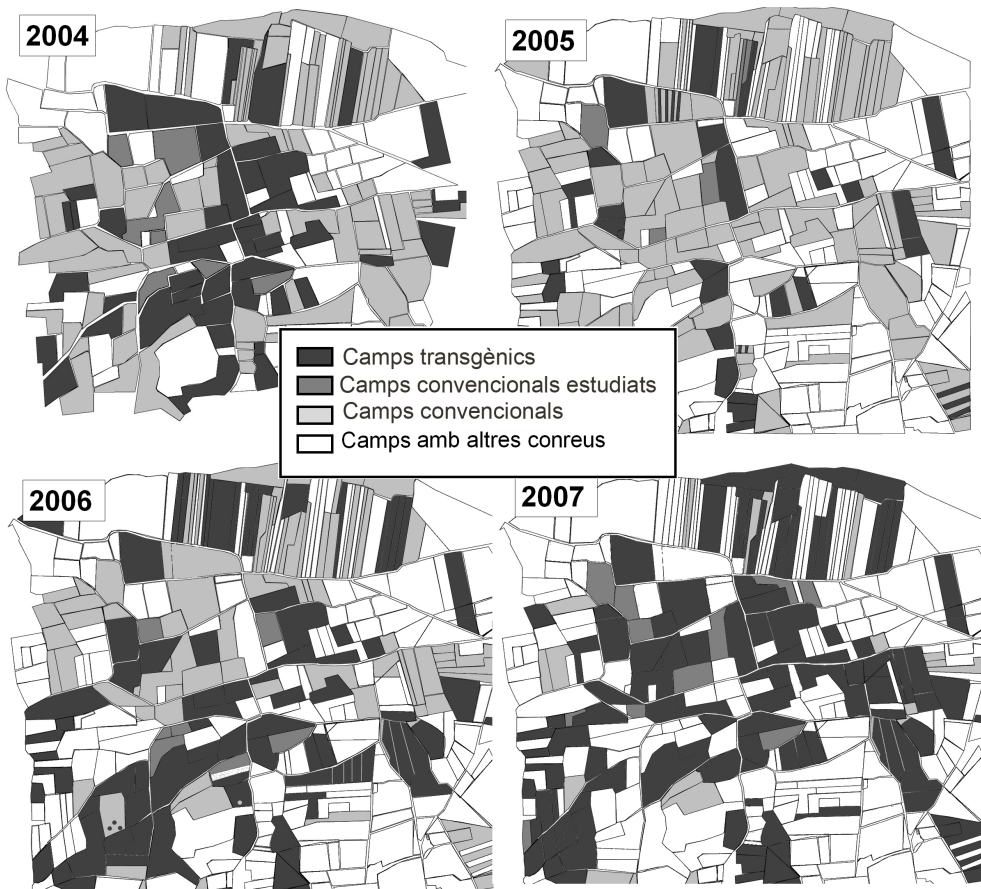


FIGURA 4. Mapes de la zona de Foixà (400 ha) amb el seguiment fet de la coexistència entre cultius de blat de moro transgènics i convencionals.

Per tal d'esbrinar si les estratègies de contenció establertes per als camps petits són també necessàries per a camps grans, durant la campanya de 2008 es va ampliar l'estudi a una zona de Lleida on hi ha camps de grans dimensions (<20 ha). En les dues zones estudiades hi havia pivots de 20-30 ha tant transgènics com convencionals, que havien florit en dates clarament diferents, o altres en què la coincidència de la floració era bastant significativa. Els resultats obtinguts (dades no publicades) demostren clarament que, encara que hi hagi coincidència de floració, el total de la producció d'aquests camps tan grans estarà clarament molt per sota del 0,9 % i, per tant, no caldria etiquetar-la com a transgènica. És més, si se separés la producció de les vuit regues del voltant (que és equivalent a una passada de la màquina de collir) la producció restant del camp tindria un nivell de blat de moro Bt, degut a la pol·linització creuada, per sota del nivell de detecció de la PCR quantitativa. Aquests resultats —coincidents amb els obtinguts per Ortega (Ortega Molina, 2006)— demostren que en el cas de camps grans no seria necessari establir les mesures de contenció, necessàries per a camps petits.

En aquests estudis en condicions reals portats a terme a les zones on els camps tenen una mida mitjana de 1,5 ha s'han pres com a mínim vint-i-vuit mostres de cada camp per poder avaluar el contingut d'OMG. El preu de l'anàlisi d'aquestes mostres supera amb escreix el preu de la producció d'aquests camps, fet que fa inviable aquest sistema de mostreig per utilitzar-lo l'agricultor o l'Administració per preveure o avaluar què és el que hi ha al camp. Per altra banda, en el moment en què s'estableixi una normativa caldrà, simultàniament, establir un sistema de detecció de responsabilitats. És a dir, si un camp convencional té un contingut de blat

de moro MG superior al 0,9 % degut a la pol·linització creuada, caldrà establir quins camps veïns són els responsables d'aquests fets. Establir aquestes responsabilitats mitjançant l'anàlisi de mostres és molt complicat, a causa de la gran variabilitat en la distribució del flux genètic en el camp i la indeterminació inherent als sistemes d'anàlisi actuals. Aquestes dificultats fan preveure que les normes de coexistència haurien d'estar basades en estratègies de prevenció més que no pas en anàlisis posteriors.

Les dades científiques obtingudes tant en el cas de l'arròs com en el del blat de moro demostren que la coexistència és possible en aquests cultius, sempre que la normativa que s'estableixi tingui en compte les característiques inherents al tipus de cultiu i les pràctiques agronòmiques de les zones on es conreen. Així, en el cas de l'arròs les mesures de contenció haurien de ser mínimes o inexistents i haurien de tenir en compte la presència de l'arròs salvatge, mentre que en el cas del blat de moro, depenent de l'estructura parcel·laria, s'haurien d'establir normes referents a les distàncies de seguretat o establir pautes en les dates de sembra per coordinar la coincidència en la floració.

A mesura que es vagin aprovant altres cultius a Europa, s'hauran de fer els estudis necessaris per dissenyar la normativa de coexistència adequada. També cal tenir en compte que les normatives de coexistència s'hauran d'anar adequant a la comercialització de noves varietats amb característiques diferents. En altres països del món ja es comercialitzen plantes transgèniques de blat de moro portadores de més d'un transgen, i les estratègies de control i contenció s'hauran de dissenyar tenint en compte també el contingut genètic de les plantes comercialitzades.

## AGRAÏMENTS

La investigació descrita en aquest article ha estat finançada pels projectes europeus ERRI, EURICE i SIGMEA, els projectes nacionals INIA RTA2007-00006-00 i MCYT BIO2003-04936, el projecte INRA ANR-06-POGM005-GCOMPAP i per l'IRTA i el DAR.

## BIBLIOGRAFIA

- ALCALDE, E.; PELAEZ, P. (2004). «Coexistencia del maíz Bt modificado genéticamente en España». A: *V Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria*, Santiago de Compostella.
- BREITLER, J. C.; VASSAL, J. M.; CATALÀ, M. D.; MEYNARD, D.; MARFÀ, V.; MELÉ, E.; ROYER, M.; MURILLO, I.; SAN SEGUNDO, B.; GUIDERDONI, E.; MESSEGUER, J. (2004). «Bt rice harbouring cry genes controlled by a constitutive or wound-inducible promoter: protection and transgene expression under Mediterranean field conditions». *Plant Biotechnology Journal*, 2: 417-430.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. (2004). «Coexistence of GM and Non GM Crops: Case Study of Maize Grown in Spain» [en línia]. Dorchester: P. E. L. <<http://www.pgeconomics.co.uk>>.
- CASTAÑERA, P.; ORTEGO, F. (2000). «El maíz transgénico en España». *Mundo Científico*, 210: 43-47.
- COMISSIÓ EUROPEA (2003a). «Regulation no. 1829/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on genetically modified food and feed». *Official Journal of the European Communities*, 1829/2003: 1-23.
- COMISSIÓ EUROPEA (2003b). «Regulation no. 1830/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 concerning the traceability and labelling of genetically modified organisms and the traceability of food and feed products produced from genetically modified organisms and amending directive 2001/18/EC». *Official Journal of the European Union*, L 268: 24-28.
- COMUNITAT EUROPEA (2001). «Directive (2001/18/CE) European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms». *Official Journal of the European Communities*, L106: 1-39.
- COMUNITAT EUROPEA (2003). «Commission Recommendation. Guidelines for the development of national strategies and best practices to ensure the coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming». *Official Journal of the European Communities*, L189: 36-47.
- CHEN, L. J.; LEE, D. S.; SONG, Z. P.; SUH, H. S.; LU, B. R. (2004). «Gene flow from cultivated rice (*Oryza sativa*) to its weedy and wild relatives». *Annals of Botany*, 93: 67-73.
- DELLA PORTA, G.; EDERLE, D.; BUCCHINI, L.; PRANDI, M.; POZZI, C.; VERDERIO, A. (2006). *Gene flow between neighbouring maize fields in the Po Valley*. Milà: C. D. Agrobiotecnologico.
- DELLA PORTA, G.; EDERLE, D.; BUCCHINI, L.; PRANDI, M.; VERDERIO, A.; POZZI, C. (2008). «Maize pollen mediated gene flow in the Po valley (Italy): Source-recipient distance and effect of flowering time». *European Journal of Agronomy*, 28: 255-265.
- DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, ALIMENTACIÓ I ACCIÓ RURAL (2009). «Estadístiques i observatoris. Estructura i producció» [en línia]. <<http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR/>>.
- DEVOS, Y.; DILLEN, K.; REHEUL, D.; KAISER, M.; SANVIDO, O. (2009). «Coexistence of genetically modified (GM) and non-GM crops in the European Union. A review». *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1): 11-30.
- DEVOS, Y.; REHEUL, D.; SCHRIJVER, A. de (2005). «The co-existence between transgenic and non-transgenic maize in the European Union: a focus on pollen flow and cross-fertilization». *Environmental Biosafety Research*, 4: 71-87.
- DEVOS, Y.; THAS, O.; COUGNON, M.; CLERCQ, E. M. de; CORDEMANS, K.; REHEUL, D. (2008). «Feasibility of isolation perimeters for genetically modified maize». *Agronomy for Sustainable Development*, 28: 195-206.
- EMBERLIN, J.; ADAMS-GROOM, B.; TIDMARSH, J. (1999). *A report on the dispersal of maize pollen*. Worcester: Soil Association, National Pollen Research Unit, Univ. College Worcester.
- HUANG, J. K.; ROZELLE, S.; PRAY, C.; WANG, Q. F. (2002). «Plant biotechnology in China». *Science*, 295: 674-677.
- INGRAM, J. (2000). «The separation distances required to ensure crosspollination is below specified limits in non-seed crops of sugar beet, maize and oilseed rape». *Plant Var. Seeds*, 13: 181-199.
- ISAAA (2009). «Summary report on the current global status of GM crops» [en línia]. <<http://www.isaaa.org/kc/>>.

- JONES, M.; BROOKS, J. (1950). «Effectiveness of distance and border rows in preventing outcrossing in corn». *Tech. Bull.*, T-38.
- KHUSH, G. S. (1993). *Floral structure, pollination biology, breeding behaviour, transfer distance and isolation considerations*. World bank technical paper. Biotechnology Series, 1 (Rice Biosafety). EUA: The Rockefeller Foundation.
- MESSÉAN, A.; ANGEVIN, F.; GÓMEZ-BARBERO, M.; MENRAD, K.; RODRÍGUEZ-CEREZO, E. (2006). «New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European agriculture». *Tech. Rep. EUR 22102 EN*, p. 116. Sevilla: Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre, Comissió Europea.
- MESSEGUER, J.; FOGHER, C.; GUIDERDONI, E.; MARFÀ, V.; CATALÀ, M. M.; BALDI, G.; MELÉ, E. (2001). «Field assessments of gene flow from transgenic to cultivated rice (*Oryza sativa* L.) using a herbicide resistance gene as tracer marker». *Theoretical and Applied Genetics*, 103: 1151-1159.
- MESSEGUER, J.; MARFÀ, V.; CATALÀ, M. M.; GUIDERDONI, E.; MELE, E. (2004). «A field study of pollen-mediated gene flow from Mediterranean GM rice to conventional rice and the red rice weed». *Molecular Breeding*, 13: 103-112.
- MESSEGUER, J.; MELÉ, E. (2006). «Coexistència de cultivos tradicionales y genéticamente modificados». A: MUÑOZ, E. [ed.]. *Organismos modificados genéticamente*. Madrid: Ephemera, p. 267-278.
- MESSEGUER, J.; PALAUDELMAS, M.; PEÑAS, G.; SERRA, J.; SALVIA, J.; BALLESTER, J.; BAS, M.; PLA, M.; NADAL, A.; MELE, E. (2008). «Three year study of a real situation on coexistence in maize». *Third International Conference on coexistence between Genetically Modified (GM) and non-GM based agricultural supply chains*, Sevilla, 20-21 Novembre 2007, p. 93-96.
- MESSEGUER, J.; PEÑAS, G.; BALLESTER, J.; BAS, M.; SERRA, J.; SALVIA, J.; PALAUDELMAS, M.; MELÉ, E. (2006). «Pollen-mediated gene flow in maize in real situations of coexistence». *Plant Biotechnology Journal*, 4: 633-645.
- NOLDIN, J. A.; YOKOYAMA, S.; ANTUNES, P.; LUZZARDI, R. (2002). «Potencial de cruzamento natural entre o arroz transgênico resistente ao herbicida glufosinato de amônio e o arroz daninho». *Planta Daninha*, 2: 243-251.
- ORTEGA MOLINA, J. (2006). «The Spanish experience with co-existence after 8 years of cultivation of GM maize». *Co-existence of GM, Conventional, and Organic Crops, Freedom of Choice Conference, Viena*.
- PALAUDELMAS, M.; MELÉ, E.; PEÑAS, G.; PLA, M.; NADAL, A.; SERRA, J.; SALVIA, J.; MESSEGUER, J. (2008b). «Sowing and flowering delays can be an efficient strategy to improve coexistence of genetically modified and conventional maize». *Crop Science*, 48: 2404-2413.
- PALAUDELMAS, M.; PEÑAS, G.; MESSEGUER, J.; MELÉ, E.; SERRA, J.; SALVIA, J.; PLA, M.; NADAL, A. (2008a). «Coexistència en situació real entre blat de moro transgènic i convencional. Resultats del seguiment realitzat els anys 2004, 2005 i 2006 en la zona de conreu de Foixà (Baix Empordà)» [en línia]. *RuralCat*, dossier tècnic núm. 27. <<http://www.ruralcat.net>>.
- POTRYKUS, I. (2002). «Golden rice: concept, development, and its availability in developing countries». *International Rice Congress, Pequin*, 46.
- QUILIS, J.; PEÑAS, G.; MESSEGUER, J.; BRUGIDOU, C.; SEGUNDO, B. S. (2008). «The Arabidopsis AtNPR1 inversely modulates defense responses against fungal, bacterial, or viral pathogens while conferring hypersensitivity to abiotic stresses in transgenic rice». *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 21: 1215-1231.
- RONG, J.; LU, B. R.; SONG, Z. P.; SU, J.; SNOW, A. A.; ZHANG, X. S.; SUN, S. G.; CHEN, R.; WANG, F. (2007). «Dramatic reduction of crop-to-crop gene flow within a short distance from transgenic rice fields». *New Phytologist*, 173: 346-353.
- RONG, J.; SONG, Z. P.; SU, J.; XIA, H.; LU, B. R.; WANG, F. (2005). «Low frequency of transgene flow from Bt/CpTI rice to its nontransgenic counterparts planted at close spacing». *New Phytologist*, 168: 559-566.
- SONG, Z. P.; LU, B. R.; CHEN, J. K. (2004). «Pollen flow of cultivated rice measured under experimental conditions». *Biodiversity and Conservation*, 13: 579-590.
- TREU, R.; EMBERLIN, J. (2000). *Pollen dispersal in the crops maize (Zea mays), oilseed rape (Brassica napus ssp. oleifera), potatoes (Solanum tuberosum), sugar beet (Beta vulgaris ssp. vulgaris), and wheat (Triticum aestivum)*. Worcester: Soil Association, National Pollen Research Unit, Univ. College Worcester.
- WEBER, W. E.; BRINGEZU, T.; BROER, I.; EDER, J.; HOLZ, F. (2007). «Coexistence between GM and Non-GM maize crops - Tested in 2004 at the field scale level (Erprobungsanbau 2004)». *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193: 79-92.
- YAHIRO, Y.; KIMURA, Y.; HAYAKAWA, T. (1993). «Biosafety results of transgenic rice plants expressing rice stripe virus coat protein gene». *Third interna-*

*tional symposium on the biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms.* Oakland: University of California, p. 23-36.

YAO, K. M.; HU, N.; CHEN, W. L.; LI, R. Z.; YUAN, Q. H.; WANG, F.; QIAN, Q.; JIA, S. R. (2008). «Establishment of a rice transgene flow model for predicting maximum distances of gene flow in Southern China». *New Phytologist*, 180: 217-228.