

BIOÉTICA NA SALA DE AULA: SUBSÍDIOS PARA UMA ABORDAGEM A PARTIR DO TEMA TRANSGÊNICOS

Wanderley Carvalho*
Daniela Alcalde de Almeida**

RESUMO

Produtos das atividades científica e tecnológica, tais como os organismos transgênicos e os clones de tecidos humanos, costumam ser cercados de grande polêmica e medo, especialmente pelo seu caráter de novidade e pelo desconhecimento a ela associado. As maiores preocupações repousam sobre os possíveis impactos que a manipulação da vida pode causar para o planeta e, particularmente, para a espécie humana. A situação exige, portanto, decisões conscientes que, por sua vez, não podem ser tomadas sem conhecimento. Este artigo argumenta a favor de uma abordagem bioética no ensino de Biologia como forma de promover o conhecimento apropriado a uma tomada de decisão consciente por parte da sociedade. Para tanto, enfoca os organismos transgênicos como exemplo dos recentes avanços biotecnológicos e discute a importância de se incluírem temas como esse em uma educação biológica baseada na bioética.

Palavras-chave: Transgênicos, OGMs, Biotecnologia, Bioética, Ensino de Biologia

ABSTRACT

The results of the scientific and technological activities, such as transgenic organisms and human tissue clones, are usually accompanied by controversy and fear, especially due to the novelty and the ignorance associated to it. The major worries are related to the potential impacts of life's manipulation to our planet and particularly to the humankind. Thus, the situation requires a conscious decision-making which is not possible without knowledge. This article argues in favour of a bioethical approach in Biology teaching as some means to reach the knowledge that is needed for a conscious decision-making by the society members. Thus, the transgenic organisms are focused as an example of the recent developments in biotechnology, and a discussion is carried out in order to stress the importance of including such issues in a biological education developed on a bioethical basis.

Key words: Transgenic organisms, GMO, Biotechnology, Bioethics, Biology teaching

*

Licenciado em Ciências e Biologia. Doutor em Educação: Currículo, pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Professor de Prática de Ensino e de Estágio Supervisionado do curso de Ciências: Habilitação em Biologia da Faculdade de Ciências e Letras Padre Anchieta. Professor de História e Epistemologia da Ciência e de Metodologia da Pesquisa do curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Cruzeiro do Sul.

**

Graduada do Curso de Ciências: Habilitação em Biologia, pela Faculdade de Ciências e Letras Padre Anchieta.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de recursos naturais por parte do ser humano é antiga. Inicialmente de caráter extrativista, ela passou a assumir um perfil crescente de controle, com ênfase especial sobre os integrantes do mundo vivo. Agricultura, criação intensiva de animais e fabricação de pão, queijo, vinho e sabão estão entre os exemplos dessa ação intencional e controladora, cujo início se deu ainda na Antigüidade.

Com os trabalhos de Mendel, publicados na segunda metade do século XIX, que demonstraram o padrão estatístico de transmissão de caracteres hereditários, e os estudos de Watson e Crick que, cerca de um século mais tarde, elucidaram a estrutura da molécula do ácido desoxirribonucléico (DNA), inaugurou-se uma nova era no que diz respeito à intervenção humana sobre os recursos naturais. Desta vez, porém, não se trata apenas de simples controle sobre estes recursos, mas de uma modificação estrutural e funcional, com propósitos de potencializar benefícios. Surge, então, o termo “biotecnologia”, com o propósito de designar a área em que se dá a “aplicação de técnicas biológicas em organismos vivos, ou suas partes, para obter um produto, processo ou serviço” (Cf. VIEIRA, 2004, p. 29).

Nos últimos 30 anos, a biotecnologia vem conquistando campos cada vez maiores de aplicação, tais como os de culturas de tecidos, seqüenciamento genômico e tecnologia do DNA recombinante, constituindo-se então na “biotecnologia moderna” (Cf. VIEIRA, 2004, p.29). Assim, multiplicam-se, por exemplo, as condições técnicas para identificar e manipular genes, mudar sua expressão e transferi-los de um organismo para outro.

A biotecnologia moderna tem revolucionado os campos das ciências médicas e biológicas, trazendo benefícios como o tratamento para doenças como o câncer, por exemplo; novas vacinas e novos medicamentos são produzidos graças à evolução dos estudos e descobertas da genética vegetal e dos microrganismos. Na agricultura, já é possível contar com plantas resistentes a pragas e tolerantes a extremos de temperatura e umidade; peixes estão sendo geneticamente manipulados de forma a crescerem mais rapidamente; linhagens especiais de bactérias são produzidas para serem utilizadas na biodegradação de vazamentos de óleos ou lixos tóxicos.

Paralelamente a esse avanço científico e tecnológico, surgem as polêmicas em torno das possíveis repercussões maléficas desse tipo de atividade, bem como dos limites reservados aos seres humanos em sua ação sobre a natureza. Mais que isso, nota-se um crescente descompasso entre o progresso verificado na Ciência e na Tecnologia e a maturidade das reflexões sobre suas conseqüências e sobre o enfrentamento dos conflitos cotidianos diante das ações e decisões, individuais ou coletivas, a serem deflagradas.

Entendemos que uma valiosa contribuição no sentido de diminuir esse descompasso seria oferecida pela inclusão de questões bioéticas nos cursos de

Biologia de nível básico e superior. Por ter a vida como objeto de estudo e por estar intimamente associada aos avanços científicos e tecnológicos que envolvem a manipulação dessa mesma vida, a Biologia se constitui em campo dos mais férteis para abordagens de caráter bioético.

Ora, entre os maiores alvos de debate deste século encontram-se os transgênicos que, a exemplo da clonagem de tecidos humanos, têm dividido opiniões de cientistas, governantes e, principalmente, da população, que muito pouco sabe a respeito de seus riscos e benefícios. O caráter de novidade associado à tecnologia de produção de transgênicos exige o reconhecimento das incertezas que acompanham, não propriamente a técnica em si, mas, principalmente, os produtos que dela são gerados. É preciso abandonar posturas simplistas e reducionistas no enfrentamento das questões ligadas ao tema, buscando aceitar e compreender a complexidade e os numerosos fatores que nele atuam; é preciso, também, reconhecer que o novo, especialmente quando produto da atividade científica, gera medo, insegurança e, muitas vezes, mitos.

Atento a isto, o Conselho Federal de Biologia (CFBio) fez, aos biólogos brasileiros, recomendações enfáticas para que: a) sejam criadas “estratégias sustentáveis que propiciem condições adequadas de preservação da biodiversidade e de vida das populações humanas envolvidas nestes processos” (Conselho Federal de Biologia, p.3); b) questões éticas relativas ao emprego da biotecnologia sejam discutidas “no plano da informação científica à sociedade, em uma linguagem acessível, do argumento e não através da consciência privada” (Conselho Federal de Biologia, p.3), de forma a garantir os interesses da sociedade e não os de natureza corporativista e c) os profissionais da área mantenham-se “permanentemente atentos e atualizados em relação aos avanços científicos relacionados com o assunto ‘Biotecnologia e uso de OGMs’” (Conselho Federal de Biologia, p.3), procurando identificar as conseqüências benéficas e malélicas que o emprego dessa tecnologia pode provocar nos âmbitos econômico, social, cultural, sanitário e ambiental.

2. BIOÉTICA E ENSINO DE BIOLOGIA: CONHECIMENTO E DIÁLOGO EM FAVOR DA VIDA

Nada que envolva tomada de decisão em relação a organismos transgênicos pode escapar de um criterioso exame crítico com base em princípios éticos. Na verdade, decisão e ética guardam entre si um estreito vínculo, uma quase sinonímia. Derivada do grego *ethos*, que significa costume, caráter, modo de ser, a palavra “ética” designa uma esfera da ação humana preocupada em “elaborar uma reflexão sobre as razões de se desejar a justiça e a harmonia e sobre os meios de alcançá-las” (JAPIASSU; MARCONDES, 1993, p.90). Essa busca pressupõe a existência do agente ou sujeito ético, um ser racional, consciente, livre e responsável que, como tal, sabe, decide, escolhe e responde pelo que faz (Cf. CHAUI, 1999, p.3).

Problemas éticos decorrentes de atividades que trazem repercussões para o mundo vivo são tratados no âmbito da bioética. Apesar das controvérsias em torno da origem e do significado hoje atribuído ao termo “bioética”, parece haver certa tendência a creditar-se a autoria a Van Rensselaer Potter que, em 1971, associou-o a uma preocupação com aspectos relacionados não apenas com a sociedade humana e às interações entre seus membros, mas sobre a totalidade da biosfera (Cf. BRYANT, BAGGOT la VELLE, 2003, p. 91). Partindo das idéias apresentadas por M.J. Reiss, em 2002, Bryant e Baggot la Velle (2003, p. 91) propõem que à concepção de Potter sejam incorporados dois outros elementos: a) o trans-geracional (ações voltadas às gerações humanas futuras) e b) o trans-específico (ações voltadas às outras espécies de organismos). A bioética estaria, assim, alicerçada em quatro princípios fundamentais: a) a beneficência (fazer o bem, não causar danos, favorecer a qualidade de vida); b) a autonomia (capacidade de se autogovernar, escolher, dividir, avaliar...); c) a justiça (garante a distribuição justa, eqüitativa e universal dos benefícios) e d) a alteridade (sustenta e engloba todos os princípios anteriores) (Cf. PESSINI; BARCHIFONTAINE, 1996, p.43).

Se, conforme vimos, questões de ordem ética que emergem das atividades biotecnológicas não podem ser debatidas exclusivamente por aqueles que fazem ciência, mas, pelo contrário, por toda a sociedade, é preciso pensar em mecanismos capazes de preparar os cidadãos para o debate. Nesse sentido, os ambientes educativos, notadamente os escolares, parecem constituir-se num dos *loci* mais privilegiados para que essa tarefa seja levada a termo. Bryant e Baggot la Velle (2003, p. 92) recomendam incisivamente que os debates de cunho bioético integrem o maior número de cursos possível, incluindo-se os universitários da área das Ciências Biológicas, dentre os quais figuram os de licenciatura em Biologia.

Choi e Cho (2002, p. 29) reconhecem que as questões de ordem ética tornaram-se um problema a ser levado em consideração por toda a sociedade moderna e afirmam já não ser mais possível separar ciência e ética. Dessa forma, chamam a atenção dos educadores para a necessidade de se incluírem elementos de ética nos cursos de Ciências. Em estudo que envolveu alunos na faixa dos 13-14 anos, os autores puderam constatar que a inclusão da ética no ensino de Ciências mostrou-se bastante satisfatória no que diz respeito a aumentar o interesse dos estudantes nas aulas daquela disciplina e, ao mesmo tempo, evidenciar a importância e a aplicabilidade dos conteúdos científicos na vida cotidiana.

Chen e Raffan (1999) desenvolveram estudo com alunos do Reino Unido e de Taiwan, na faixa dos 16-18 anos, buscando mapear o conhecimento e as atitudes destes em relação à biotecnologia. Os resultados apontam para um conhecimento limitado a respeito de biotecnologia, enquanto as atitudes em relação à manipulação de organismos mostraram-se vinculadas ao propósito. Assim, a cura de doenças e a resistência a pragas mostraram-se mais justificáveis que aumentos na taxa de crescimento animal; transferências de genes foram aceitas

somente em plantas, desde que não incluam material genético de origem animal. Os autores são enfáticos quanto à necessidade de se gerarem oportunidades de discussão acerca de tópicos relativos à biotecnologia, incluindo-se os aspectos éticos. Mais que isso, consideram a bioética um assunto de presença obrigatória na educação biotecnológica. "Os estudantes precisam ser auxiliados a desenvolver um pensamento independente e ser melhor preparados para lidar com as questões controversas encontradas na vida cotidiana." (CHEN; RAFFAN, 1999, p.23)

Dawson e Taylor (2000, p.187-188) realizaram estudo junto a alunos australianos entre 14 e 15 anos que participaram de um curso de biotecnologia no qual receberam fundamentos de bioética. Os autores defendem que, se quisermos formar futuros cidadãos bem informados e capazes de tomar decisões, precisamos garantir que eles estejam cientes das aplicações que os avanços biotecnológicos permitem e aptos a avaliar as implicações sociais e bioéticas dessa controversa e relativamente nova ciência. Após o curso, destacam os autores, os estudantes mostraram-se aptos a tomar decisões de ordem bioética baseadas nos direitos dos envolvidos, embasando-se especialmente no princípio da autonomia, muito embora não tenham sido capazes de avaliar as consequências, a longo prazo, de suas decisões.

Simonneaux (2002, p.11) advoga em favor de um trabalho educativo que se proponha a desenvolver, nos estudantes, habilidades de argumentação, de forma a torná-los capazes de participar de debates, na qualidade de cidadãos. Nessa tarefa, sinaliza o autor, é preciso concentrar esforços no sentido de capacitar os alunos a identificar e determinar a validade de seus pontos de vista de cunho emocional e dos argumentos apresentados por cientistas, divulgadores, professores e pelos próprios colegas de curso. Argumentos possuem tempo e contexto específicos, o que nos leva a ter em consideração as características sociais das situações apresentadas pelos estudantes. Sejam quais forem estas situações e/ou suas características, a neutralidade jamais deverá ser perseguida.

Os estudos acima relatados parecem confirmar as afirmações de Bryant e Baggot la Velle (2003, p. 92), para quem discutir bioética requer o atendimento a, pelo menos, duas exigências: compreensão da Ciência e diálogo. Se adequadamente bem estruturados, os cursos de Biologia nos níveis básico e superior da educação brasileira podem prestar significativas contribuições nesse sentido. De um lado, oferecendo uma sólida alfabetização científica por meio de projetos de pesquisa e de elementos fundamentais de história e filosofia da Ciência (Cf. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio, p.219), sempre levando em consideração o nível intelectual em que se encontram os alunos; de outro, fazendo do diálogo, do debate e do respeito à pluralidade de idéias as molas propulsoras de uma verdadeira educação biológica.

3. TRANSGÊNICOS: CONCEITO E APLICAÇÃO

Transgênicos são organismos gerados a partir de células em cujo genoma foi inserido, por métodos de recombinação, determinado trecho de DNA, correspondente a um ou mais genes, com o propósito de introduzir uma nova característica ou alterar uma já existente (Cf. WARWICK, 2000, p.128; MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.5). O fragmento de DNA incorporado ao genoma das células receptoras pode ser natural, quando obtido a partir de microrganismos, plantas ou animais, ou sintético, quando produzido em laboratório. Em ambos os casos, o trecho transferido contém as seqüências de nucleotídeos necessárias para que o gene ou genes de interesse sejam expressos, permitindo que se criem espécies dotadas de características que lhe são totalmente novas, algo impossível de ser realizado por cruzamentos entre os organismos envolvidos (Cf. WARWICK, 2000, p.128).

Em animais, essa transferência é feita basicamente por duas vias: uma mecânica, que utiliza uma micropipeta para introduzir o material genético no interior de um zigoto, e outra biológica, que emprega retrovírus modificados como portadores do trecho de DNA que se deseja transferir para as células receptoras (Cf. RAW et al., 2001, p.384-385).

Em vegetais, também são duas as vias para a transferência de genes: a mecânica, também conhecida como Biolístico ou "*gene gun*" (pistola gênica), emprega uma espécie de arma que dispara, contra células em cultivo, minúsculas partículas de ouro cobertas com o DNA de interesse (Cf. RAW et al., 2001, p.385-386; WARWICK, 2000, p.129; MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.5); a biológica introduz, diretamente no genoma de células cultivadas, o plasmídeo de bactérias do gênero *Agrobacterium* contendo o gene a ser transferido (Cf. RAW et al., 2001, p.385-386; WARWICK, 2000, p.129; MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.5).

Para que plantas geneticamente modificadas sejam produzidas satisfatoriamente, um conjunto razoavelmente complexo de etapas deve ser cumprido. Primeiro, os genes de interesse devem ser identificados e isolados; segue-se, então, sua introdução nas células hospedeiras por meio de uma das técnicas acima citadas. Qualquer que seja a técnica empregada, sabe-se que somente uma pequena parcela das células-alvo incorpora o gene de interesse ao seu genoma. Destas células, um número ainda menor contará com a interação e a expressão do gene incorporado (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). Tendo em vista que o objetivo é manter e multiplicar somente as células capazes de expressar o gene de interesse, um gene marcador é introduzido juntamente com ele. Dentre os genes marcadores mais amplamente empregados encontram-se aqueles que conferem resistência a antibióticos fitotóxicos, como, por exemplo, o gene *nptII*, responsável pela resistência à kanamicina (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). Uma vez realizados os procedimentos habituais de transferência gênica, os tecidos das plantas-alvo são levados a um meio de cultura contendo o antibiótico, graças ao qual é possível selecionar somente as células que incorporaram o

gene marcador, juntamente com o gene de interesse, já que as demais sucumbem à substância que lhes é tóxica. As células sobreviventes, por sua vez, proliferam e se diferenciam, dando origem a plantas íntegras, que passam a receber a denominação “transgênicas” ou “geneticamente modificadas” (Cf. MARCHANT, MARCHANT, 1999, p.58).

O primeiro relato sobre a produção de um vegetal geneticamente modificado data de 1983; treze anos mais tarde foi lançado, no mercado do Reino Unido, o primeiro produto resultante da industrialização de uma cultura transgênica: um purê de tomates (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.5). De lá para cá, um número crescente de espécies vegetais tem sido objeto da modificação genética. Somente no biênio 1996-1997, 25.000 ensaios de campo foram conduzidos em todo o mundo; entre 1996 e 1998, Estados Unidos, Argentina, Austrália, Canadá, México, China, Espanha, França e África do Sul foram os grandes responsáveis por um aumento de 2,8 milhões para 28 milhões de hectares da área de cultivo de soja, milho, algodão, batata, tomate e tabaco geneticamente modificados (Cf. WARWICK, 2000, p.128).

Ultimamente, o arroz tem figurado entre os maiores alvos do melhoramento por meio da modificação genética. O principal objetivo desse melhoramento é aumentar o valor nutricional do cereal, aumentando a disponibilidade de ferro e pró-vitamina A graças à introdução de genes vindos de espécies não aparentadas do arroz (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.7; Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica, s.d., p.5).

Um outro foco de interesse das pesquisas com transferência de genes tem sido a produção de vegetais, em especial os largamente empregados na agricultura, que se mostrem resistentes a pragas e doenças, visando a uma redução do uso de pesticidas sintéticos (Cf. RAW et al., 2001, p. 386; MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.7). No Brasil, apesar de uma paralisação forçada pela ausência de legislação específica para a área biotecnológica, pesquisas envolvendo a produção de vegetais transgênicos resistentes a pragas foram iniciadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Entre as plantas pesquisadas destacam-se: a) batata, algodão e banana resistentes a fungos e ao vírus Y; b) feijão resistente ao vírus do mosaico dourado; c) café resistente a insetos que atacam os grãos e d) mamão resistente ao vírus da mancha anelar (Cf. VALLE, 2004, p.9).

Programas de reprodução vegetal também têm se beneficiado dessa tecnologia, produzindo indivíduos geneticamente modificados destinados à linha de reprodução, da qual se espera uma variedade final não-transgênica (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.7). Há pouco mais de meia década, ganharam espaço as pesquisas voltadas para plantas geneticamente modificadas com propósitos distintos do alimentar. Um exemplo são as variedades que, após a modificação, passam a apresentar novas vias metabólicas que as tornam adaptadas a crescer e se desenvolver em locais contaminados por substâncias tóxicas, que são absorvidas e, em alguns casos, degradadas.

Diante desses dados, conclui-se facilmente que as espécies de maior interesse para a prática da transformação genética têm sido as plantas empregadas em grandes cultivos, para as quais busca-se conferir um caráter vantajoso, seja melhorando a qualidade e a produtividade, seja aumentando a resistência a doenças, pragas, herbicidas e agressões do ambiente (Cf. WARWICK, 2000, p.128).

4. TRANSGENIA E AGRICULTURA: OS DOIS (OU MAIS) LADOS DA MOEDA

Dentre os caracteres usualmente introduzidos em vegetais de cultivo, a tolerância a herbicidas parece figurar entre os que apresentam maior interesse, constituindo-se, também, num dos maiores geradores de polêmicas em torno do tema “transgênicos”. Os herbicidas são utilizados nas lavouras com o propósito de eliminar as chamadas ervas daninhas consideradas uma ameaça à produção, quer reduzindo-a quer contaminando o material obtido após a colheita (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). Uma lista contendo 13 características, os chamados caracteres de Baker, que fazem com que uma planta seja classificada como daninha, auxilia os estudiosos nesse campo a avaliar as chances que um vegetal possui de se estabelecer como daninha ou não. Quanto maior o número de características, maiores as chances (Cf. WARWICK, 2000, p.128). Tais características relacionam-se a propriedades invasivas, tais como o crescimento rápido, a dormência das sementes, a autofecundação e a multiplicação vegetativa (Cf. WARWICK, 2000, p.128).

O emprego de herbicidas de amplo espectro permite o controle efetivo das ervas daninhas, mas traz o inconveniente de dizimar as culturas sempre que forem utilizadas as doses necessárias ao combate eficaz das invasoras; se aplicados somente antes da emergência dos vegetais em cultivo, o controle das ervas daninhas que se estabelecerem ao longo do crescimento e desenvolvimento da cultura tornar-se-á bastante problemático (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). Culturas transgênicas tolerantes aos herbicidas de amplo espectro surgem, assim, como a solução mais adequada para o problema, já que tornam possível a aplicação daqueles produtos em qualquer etapa do desenvolvimento da cultura e, dessa forma, um controle mais efetivo das ervas daninhas, além de uma potencial redução no volume de herbicidas utilizados (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8).

Dentre a imensa gama de genes para a tolerância a herbicidas que vêm sendo introduzidos nas mais diversas espécies vegetais, o gene EPSPS (*AroA*), que confere tolerância ao glifosato, é o mais amplamente empregado (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). No Brasil, o glifosato está registrado para aplicação pré e pós-emergente, somente nas valas existentes entre uma linha e outra de plantio, já que a soja convencional não tem resistência ao herbicida. Este sistema de aplicação evita o contato direto do produto com a soja (Cf. LONDRES, 2003).

Em comparação a outros herbicidas de uso corrente, o glifosato, princípio

ativo do herbicida cujo nome comercial é *Roundup*, mostra-se menos tóxico aos invertebrados e mais prontamente degradado pela biota microbiana do solo (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). Contudo, um estudo realizado pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP demonstrou que 61% das intoxicações por agrotóxicos ocorridas no Brasil, entre 1996 e 2000, são decorrentes de manipulações com glifosato (Cf. GÖRGEN; GUTERRES, 2003). A degradação microbiológica do glifosato apresenta, entre seus subprodutos, o ácido aminometilfosfônico (AMPA) que, além de ser mais nocivo que o próprio glifosato, persiste por tempo mais prolongado no solo, água e alimentos. Estudos realizados em oito estados norte-americanos concluíram que a meia-vida do AMPA no solo encontra-se entre 119 e 958 dias (Cf. LONDRES, 2003). A toxicologia aguda do glifosato inclui sintomatologia para diversos animais, inclusive o homem. Os sintomas principais são irritação de pele e olhos, dor de cabeça, náusea, tontura, pressão arterial elevada e palpitação cardíaca (Cf. GÖRGEN; GUTERRES, 2003). É conhecido na literatura científica desde 1999 que a exposição prolongada de pessoas ao glifosato aumenta também a probabilidade de ocorrência do linfoma non-Hodgkin, um tipo de câncer fatal. (Cf. GÖRGEN; GUTERRES, 2003; Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, 2003).

Culturas tolerantes ao glifosato, comercializadas sob a marca *Roundup Ready* (RR), vêm ocupando áreas cada vez maiores, sendo representadas, principalmente, pela soja e pela beterraba branca (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). Em 1998, áreas de cultivo contendo plantas tolerantes a herbicidas, principalmente a soja, representavam 71% da superfície ocupada por vegetais transgênicos (Cf. WARWICK, 2000, p.128; MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.8). Recentemente, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) interrompeu, em virtude da já citada ausência de legislação específica para a biotecnologia, investigações voltadas para a criação de soja transgênica tolerante ao herbicida Imazapyr, uma alternativa à soja RR (Cf. VALLE, 2004, p.9).

Trata-se da *BR-16*, uma soja transgênica com grande resistência ao herbicida Arsenal, cujo princípio ativo é o Imazapyr, e que tem baixo grau de dispersão gênica, podendo ser plantada ao lado da soja convencional, a uns 10 metros, sem que haja contaminação significativa de uma pela outra (Cf. BARROCAL, 2003). Segundo a EMBRAPA, se o Arsenal for usado paralelamente ao *Roundup*, poderá retardar o desenvolvimento de resistência por parte de pragas e ervas daninhas combatidas com um único herbicida. O Arsenal ainda possui uma vantagem técnica em relação ao *Roundup*: um maior poder residual de ação, o que permite uma única aplicação por safra (Cf. BARROCAL, 2003).

Se o número de espécies vegetais geneticamente modificadas e a origem dos diferentes genes transferidos para essas espécies vêm se ampliando, é de se esperar que as razões, tanto para a adoção quanto para o abandono de tal prática, também se agigantem, gerando polarizações e, por conseqüência, debates crescentemente acalorados. Alimentando as contendas, encontram-se, além

dos aspectos já mencionados, diversos argumentos que respaldam tanto um quanto outro extremo.

Segundo Marchant e Marchant (1999, p.6), para os que advogam em favor dos organismos geneticamente modificados, a transferência de genes por recombinação mostra-se muito mais conveniente que a reprodução vegetal tradicional porque:

a) Permite a introdução dirigida de um ou mais genes de interesse, sem que um número consideravelmente superior de genes, responsáveis por uma gama de caracteres, acabe envolvido no processo. Numa reprodução tradicional, seria necessária a realização de um retrocruzamento extensivo, tanto com o propósito de eliminar as características indesejáveis quanto de resgatar as que se perderam após o cruzamento original;

b) Viabiliza a pronta transferência de genes, independentemente das eventuais barreiras entre espécies ou mesmo reinos. Assim, um vegetal poderá ter incorporado ao seu genoma um ou mais genes obtidos a partir de outro vegetal aparentado ou não, bem como de um fungo, uma bactéria ou animal;

c) Reduz drasticamente o tempo necessário para a produção de uma planta geneticamente modificada: cerca de 5 anos, contra os 15 anos exigidos pela reprodução tradicional;

d) Representa uma ferramenta de grande utilidade em estudos envolvendo plantas e genética;

e) Contribui para aumentar a oferta mundial de alimentos graças ao aumento de produção obtido pela redução de perdas por pragas, doenças e condições ambientais adversas;

f) Reduz a utilização de pesticidas e fertilizantes causadores de danos ambientais;

g) Reduz o desperdício de produtos agrícolas armazenados em função de um aumento na durabilidade destes;

h) Reduz custos de processamento pós-colheita e os danos ambientais por ele causados;

i) Viabiliza a criação e fabricação de novos produtos, entre eles fármacos, vacinas e bio-polímeros;

j) Reduz os custos de produção de artigos de origem vegetal.

Pesando contra a transgenia voltada para a agricultura, estaria uma série de riscos, de caráter tanto biológico quanto econômico e social. Sob o aspecto biológico, seriam duas as categorias de riscos potencialmente associados à produção de vegetais transgênicos: a primeira, relacionada ao cultivo, diz respeito aos impactos sobre o ambiente; a segunda, relacionada ao consumo, refere-se aos possíveis efeitos sobre a saúde animal e humana.

Segundo Warwick (2000, p.128), plantas transgênicas não representam, a

princípio, perigo maior para o ambiente do que novas variedades vegetais obtidas pelas técnicas tradicionais de cruzamento e seleção destinadas ao melhoramento. Há, contudo, que se considerar o fato de que, pelos meios tradicionais, torna-se possível uma adaptação progressiva das espécies melhoradas, fenômeno que demanda vários anos, enquanto os vegetais transgênicos passam por uma modificação brusca de suas propriedades. Neste caso, o maior perigo associado às culturas geneticamente modificadas residiria em sua potencial capacidade de modificar ou gerar populações de ervas daninhas consideravelmente nocivas (Cf. WARWICK, 2000, p.128). Um possível agravante é o emprego de transgenes provenientes de outras espécies, muitas vezes pertencentes a reinos distintos daquele em que figura o organismo geneticamente modificado; tal procedimento rompe com a barreira interespecífica, cuja importância para a manutenção da ordem natural é inegável.

A interferência das culturas transgênicas sobre as populações vegetais em geral dar-se-ia por três mecanismos. No primeiro deles, ocorreria proliferação das plantas geneticamente modificadas, que passariam a se comportar, elas próprias, como daninhas (Cf. WARWICK, 2000, p.129; MARCHANT, MARCHANT, 1999, p.9). Tal fenômeno é relativamente comum em vegetais como a colza, o girassol e algumas forrageiras que, mesmo sob domesticação, não são debilitadas o suficiente para deixar de possuir certos caracteres de Baker (Cf. WARWICK, 2000, p.129). Há que se considerar, ainda, que o mesmo transgene (ou grupo de transgenes) que torna uma planta mais resistente em condições de cultivo pode torná-la mais viável em um ambiente selvagem, tornando-a daninha (Cf. WARWICK, 2000, p.129-130). "Devemos, portanto, admitir que a transferência de um único gene ou de alguns genes pode ser suficiente para transformar uma planta cultivada em erva daninha." (WARWICK, 2000, p.129)

O segundo mecanismo seria representado pela hibridação do vegetal transgênico com espécies aparentadas (Cf. WARWICK, 2000, p.130; MARCHANT, MARCHANT, 1999, p.8), acompanhada da introgressão do transgene. Vegetais com razoável grau de resistência, vivacidade, prolificidade e competitividade, que realizam polinização aberta e possuem grande número de espécies aparentadas, geralmente selvagens, são os mais suscetíveis de se hibridar. Este é o caso das gramíneas, das espécies de pastagem ou de feno, das plantas aquáticas, bem como de algumas árvores e arbustos. Tais organismos, quando geneticamente modificados, podem, ao hibridar-se com seu parente selvagem, transferir o transgene para os descendentes. O fenômeno, conhecido como introgressão, pode tornar as ervas daninhas mais agressivas. Estima-se em 20% a proporção de espécies cultivadas cujos parentes selvagens, além de apresentar vários caracteres de Baker, costumam ser encontrados nas proximidades das lavouras dessas espécies, aumentando consideravelmente as chances de hibridação/introgressão (Cf. WARWICK, 2000, p.130).

Lembremos que o fenômeno da hibridação pode ocorrer entre variedades de

uma mesma espécie. Quando uma das variedades é transgênica, o gene a ela incorporado passa a integrar também o genoma da outra variedade. Pesquisas desenvolvidas pela Universidade da Califórnia em vales mexicanos com considerável isolamento geográfico demonstraram que variedades locais de milho apresentavam genes de milho *Bt* transgênico (Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica, p.9). “O estudo mexicano indica que plantas transgênicas podem espalhar-se mais rapidamente por áreas geográficas e entre variedades do que haviam previsto os cientistas.” (Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica, p.9)

No terceiro mecanismo, teria lugar uma pressão de seleção em favor das ervas daninhas, como resultado de mudanças implementadas no manejo da cultura, especialmente no que tange ao emprego de inseticidas e herbicidas. A utilização da mesma classe de substâncias por anos seguidos eleva o risco de que se acelere a seleção de espécies resistentes a um herbicida, por exemplo, sejam elas aparentadas ou não (Cf. WARWICK, 2000, p.130). Entre 1968 e 1998, o número de espécies de ervas daninhas resistentes a um herbicida saltou de uma para 216, distribuídas por 45 países (Cf. WARWICK, 2000, p.130). Considera-se que, dentre as plantas geneticamente modificadas, as cultivadas resistentes aos herbicidas são as que apresentam o potencial de se tornarem as mais perigosas para o ambiente, em função de dois efeitos combinados: a introgressão do transgene em uma espécie vizinha e a seleção da descendência híbrida tornada resistente aos tratamentos herbicidas (Cf. WARWICK, 2000, p.130).

A despeito dos inúmeros e exaustivos testes realizados em plantas geneticamente modificadas e seus produtos antes de seu lançamento para cultivo ou consumo, as preocupações quanto aos possíveis efeitos maléficos sobre a saúde animal e humana são sempre procedentes. Ainda que a maior parte dos transgenes que costumam ser utilizados em plantas geneticamente modificadas tenha origem em vegetais, tendo por isso sua expressão bem conhecida, é preciso levar em consideração que efeitos pleiotrópicos podem resultar na síntese de proteínas tóxicas ou alergênicas. Por exemplo, a incorporação de um gene de uma castanha brasileira ao genoma da soja, com o propósito de fazer com que esta produzisse mais proteína, resultou em um vegetal com alta capacidade alergênica, fato que inviabilizou a comercialização do produto (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.10). Para os que advogam em favor dos organismos geneticamente modificados, esta é a prova maior do rigor e da efetividade que caracterizam os processos de avaliação e controle, tanto do processo quanto do produto; para os que se posicionam contra, porém, situações como esta denunciam os riscos potenciais que acompanham a manipulação genética de seres vivos (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.10).

Paralelamente aos efeitos, benéficos ou não, à saúde e ao ambiente, surgem as repercussões de ordem econômica e social, especialmente no que se refere à dependência imposta pelas empresas ou grupos que detêm a tecnologia de pro-

dução. Um dos exemplos mais conhecidos é, provavelmente, o da empresa Monsanto, detentora dos direitos sobre o glifosato e sobre a técnica de transgenia responsável pela criação da soja RR. Caso mais dramático é o do chamado “sistema de proteção tecnológica”, que prevê a criação de novas variedades de culturas transgênicas, cuja segunda geração produz sementes não-viáveis (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.9). A exemplo do que ocorre com os já tão conhecidos grãos de milho híbrido, a cada safra o agricultor se vê obrigado a adquirir novo lote de sementes para plantio, caso deseje continuar se beneficiando das anunciadas vantagens da variedade melhorada. Se, por um lado, a medida pode trazer benefícios para o ambiente por dificultar a introdução do transgene em espécies aparentadas, por outro ela se mostra ética, social e economicamente perversa por tornar os agricultores dependentes de todo um pacote tecnológico (Cf. MARCHANT; MARCHANT, 1999, p.9).

5. DISCUSSÕES FINAIS

O tema “transgênicos”, assim como outros associados à atividade biotecnológica, é por demais complexo para ser ignorado ou tratado de forma simplista. O turbilhão de notícias, num pólo, salvacionistas e noutra, alarmistas, produtos lançados no mercado e contendas de caráter ideológico atingem em cheio a população, que se vê confusa, mal informada e, portanto, ávida ou necessitada de orientações que permitam uma tomada de decisão consciente.

A bioética está associada ao novo, ao incerto e ocupa-se em refletir sobre as conseqüências de ações e decisões, individuais ou coletivas, que envolvem o ser humano, a vida em sociedade e as relações com a natureza. Devemos nos lembrar que os estudantes de hoje serão os pesquisadores, educadores e demais profissionais de amanhã; mais que isso, serão os cidadãos sobre os quais pesará a responsabilidade de decidir, consciente e responsavelmente, sobre o futuro do planeta e de seus habitantes.

6. AGRADECIMENTOS

Às ex-alunas Dora Inês Manzani Prado Alfier e Vera Lúcia Soares, pelas contribuições prestadas durante a elaboração deste texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROCAL, André. Brasil dispõe de tipo de soja que permite plantio misto e seguro. *Diário do Comércio e Indústria*, São Paulo, 09 abr. 2003. Disponível em: <http://www.cib.org.br/midia.php?ID=1139>. Acesso em: 28 dez. 2004.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: Ministério da Educação, 1999. 364 p.

BRYANT, John; BAGGOT la VELLE, Linda . A bioethics course for biology and science education students. *Journal of Biological Education*. 37 (2): 91-95, spring 2003.

CHAUÍ, Marilena. Uma ideologia perversa. *Folha de S. Paulo*, São Paulo, 14 mar. 1999. Caderno Mais, p.3.

CHEN, Shao-Yen; RAFFAN, John. Biotechnology: students' knowledge and attitudes in the UK and Taiwan. *Journal of Biological Education*. 34 (1): 17-23, winter 1999.

CHOI, Kyunghee; CHO, Hee-Hyung. Effects of teaching ethical issues on Korean school students' attitudes towards science. *Journal of Biological Education*. 37 (1): 26-29, winter 2002.

CONSELHO FEDERAL DE BIOLOGIA. Manifestação do Conselho Federal de Biologia (CFBio) em relação aos organismos geneticamente modificados (OGMs). Brasília, 2002. 3 p.

DAWSON, Vaile; TAYLOR, Peter. Do adolescents' bioethical decisions differ from those of experts? *Journal of Biological Education*. 34 (4): 184-188, autumn 2000.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE MOVIMENTOS DE AGRICULTURA ORGÂNICA. Engenharia Genética versus Agricultura Orgânica. Botucatu: Instituto Biodinâmico, s.d. 18 p.

GÖRGEN, Frei Sérgio; GUTERRES, Enio. Efeitos nocivos do Glifosato. *Consciência.Net*, Porto Alegre, 15 out. 2003. Disponível em: <http://www.consciencia.net/2003/10/19/glifosato.html>. Acesso em: 28 dez. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. Brasil: consulta pública glifosato: comportamentos transgênicos. São Paulo, 18 nov. 2003. Disponível em: <http://www.biodiversidadla.org/article/articleview/3925/1/15/>. Acesso em: 28 dez. 2004.

JAPIASSU, Hilton; MARCONDES, Danilo. *Dicionário básico de filosofia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1993. 265 p.

LONDRES, Flávia. Brasil: manifestem-se sobre a consulta pública do glifosato! Biodiversidad en América Latina, 18 nov. 2003. Disponível em: <http://www.biodiversidadla.org/article/articleview/3910/1/15/>. Acesso em: 28 dez. 2004.

MARCHANT, Robert ; MARCHANT, Elizabeth M. G.M. plants: concepts and issues. *Journal of Biological Education*. 34 (1): 5-12, winter 1999.

PESSINI, Leocir; BARCHIFONTAINE, Christian de P. *Problemas atuais de bioética*. 3. ed. São Paulo: Loyola, 1996. 121 p.

RAW, Isaias; MENUCCI, Leila; KRASILCHIK, Myriam. *A Biologia e o homem*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 404 p.

SIMONNEAUX, Laurence. Analysis of classroom debating strategies in the field of biotechnology. *Journal of Biological Education*. 37 (1): 9-12, winter 2002.

VALLE, Dimitri do. Embrapa congela projetos por falta de lei. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 07 mar. 2004. Dinheiro, p.9.

VIEIRA, Luiz Gonzaga Esteves. Organismos Geneticamente Modificados: uma tecnologia controversa. *Ciência Hoje*. 34 (203): 28-32, 2004.

WARWICK, Suzanne. *Le péril écologique des cultures transgéniques? Pour la science*. Dossier Hors – Série - Jan. 2000, p.128-132.