

ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΔΥΝΑΤΗ Η ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ;

ΓΙΩΡΓΟΣ ΑΝΩΓΕΙΑΝΑΚΗΣ
ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ
JEFFREY LEVETT

Ο μετασχηματισμός της μοριακής γενετικής, στα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, από μία καθαρά θεωρητική επιστήμη σε ένα δομημένο σύνολο γνώσεων και μεθόδων που είναι δυνατό να αξιοποιηθούν για οικονομικό όφελος, δηλ. σε μία τεχνολογία (βιοτεχνολογία), είχε ως αποτέλεσμα την εκδήλωση στις μέρες μας ενός τεράστιου επενδυτικού ενδιαφέροντος στον τομέα αυτό. Όμως, ο ορισμός της βιοτεχνολογίας εξακολουθεί να παραμένει γενικός, περιγραφικός και εύπλαστος, αντικατοπτρίζοντας την ουσιαστική έλλειψη εμφανών ορίων στις πιθανές επιπτώσεις της στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι, κάθε σοβαρή εξέλιξη στον τομέα της βιοτεχνολογίας συνοδεύεται από περισσότερο ή λιγότερο εκτεταμένες εκδηλώσεις ανησυχίας της κοινής γνώμης για τις επιπτώσεις της γενετικής μηχανικής (του πιο πρωτοποριακού τομέα της μεθοδολογικής βάσης της βιοτεχνολογίας) πάνω σε διάφορους, όχι αναγκαστικά συνδεδεμένους, τομείς του σύγχρονου προδολημματισμού, όπως η Δημόσια Υγεία, το Περιβάλλον, η πιθανή επέμβαση στο ανθρώπινο γένωμα, και ακόμη η γενικότερη κοινωνικοοικονομική εξέλιξη στο άμεσο μέλλον και η οικονομική ανάπτυξη. Παράλληλα, τόσο στο εθνικό επίπεδο (π.χ. ΗΠΑ, Ιαπωνία, Ε.Σ.Σ.Δ., βορειοευρωπαϊκές χώρες αλλά και Ελλάδα, Ινδίες κ.λπ.), όσο και στο διακρατικό επίπεδο (π.χ. ΕΟΚ, ΟΟΣΑ) του κινδυνολογικού οικονομικού προγραμματισμού, η βιοτεχνολογία, μαζί με την πληροφορική και τη μικροηλεκτρονική, φαίνεται ότι θα αποτελέσουν βασικά μέλη της ομάδας των τεχνολογιών αιχμής πάνω στις οποίες θα θεμελιωθούν οι τεχνολογικά προηγμένες κοινωνίες των αρχών του εικοστού πρώτου αιώνα.¹

Σε αντίθεση με τις περισσότερες παλαιότερες περιπτώσεις μεταφοράς της επιστημονικής γνώσης από το εργαστήριο στην παραγωγή (π.χ. ατμοκίνηση, μηχανές εσωτερικής καύσης, ηλεκτροκίνηση, κ.ά.), ή ακόμη τις σύγχρονες ανάλογες εξελίξεις (π.χ. ηλεκτρονικοί υπολογιστές, επιστήμη των ρομπότ, δορυφορικές τηλεπικοινωνίες κ.ά.), όπου οι αρχικές, και πολλές φορές βίαιες αντιδράσεις που προκλήθηκαν ήταν αποτέλεσμα της αβεβαιότητας για το μέλλον της αγοράς εργασίας που προκαλούσε η εισαγωγή της νέας τεχνολογίας, η διάσταση απόψεων που συνοδεύει την εξέλιξη της βιοτεχνολογίας σε τεχνολογία αιχμής πρέπει να αποδοθεί κατά κύριο λόγο στην εναισθητοποίηση και τον προβληματισμό της κοινής γνώμης στα τελευταία είκοσι χρόνια γύρω από τα οικολογικά ζητήματα και την υποβάθμιση της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής. Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι η αντιγνωμία για τη βιοτεχνολογία επιτείνεται από το γεγονός ότι, σε αντίθεση με τις πρωτοποριακές τεχνολογίες του παρελθόντος ή τις σύγχρονες μη βιολογικές τεχνολογίες, δηλαδή, οι επεμβάσεις της γενετικής μηχανικής στα οικοσυστήματα θα συμβαίνουν στο επίπεδο της γενετικής παρακαταθήκης (Genetic Pool) των ειδών που απαρτίζουν το οικοσύστημα, και όχι στο φυσικό υπόστρωμα του οικοσυστήμα-

τος ή στις τροφικές αλυσίδες που χαρακτηρίζουν τη δομή του. Έτσι, έχει σοβαρά υποστηριχθεί, ότι οι βιοτεχνολογικές επεμβάσεις στα οικοσυστήματα θα χαρακτηρίζονται από μία αμεσότητα ως προς το μηχανισμό τους και με «κατακλυσμικότητα» ως προς το ρυθμό με τον οποίο τα αποτελέσματά τους γίνονται φανερά. Ότι τα μόνα, δηλαδή, ανάλογα οικολογικά φαινόμενα προς τις σχεδιαζόμενες βιοτεχνολογικές επεμβάσεις μεγάλης κλίμακας στα υπάρχοντα οικοσυστήματα (π.χ. γεωργικές εφαρμογές) ή τις τυχόν απρογραμμάτιστες εισαγωγές «γενετικά επεξεργασμένων» ειδών στον εξωεργαστηριακό χώρο (π.χ. αττιχήματα, διαρροές, κ.λπ.) είναι οι επιδημίες που σποραδικά προκύπτουν από την εισαγωγή ξένων μικροοργανισμών σε εξισορροπημένα (stable) οικοσυστήματα.

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα τέτοιων επιδημιών που συχνά επισείονται απειλητικά από τους φανατικότερους αντιπάλους της ανάπτυξης προς την κατεύθυνση της βιοτεχνολογίας. Π.χ. στις ΗΠΑ, η ασθένεια της ολλανδικής ιτιάς (Dutch Elm disease) εξαφάνισε μέσα σε λίγα χρόνια το σύνολο σχεδόν των δέντρων αυτών. Στην ίδια χώρα η καστανιά εξαφανίστηκε από μία έκταση 200.000.000 στρεμμάτων (Chestnut Blight), επίσης σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, ενώ στην δεκαετία του 1970 η συνολική παραγωγή αραβοσίτου μειώθηκε κατά 10% εξαιτίας μιας και μόνο ασθένειας. Και τα τρία παραδείγματα οφείλονται σε προσβολές από μύκητες και το αξιοσημείωτο είναι ότι στις δύο πρώτες περιπτώσεις οι αντίστοιχοι μύκητες μεταφέρθηκαν στα βορειοαμερικανικά οικοσυστήματα τυχαία, πάνω σε εισαγόμενα ασιατικά καλλωπιστικά φυτά.

Άλλο παράδειγμα που συχνά αναφέρεται είναι η σκόπιμη και προγραμματισμένη εξαφάνιση του άγριου κουνελιού από την Αυστραλία μετά από προσβολή του πληθυσμού του από παθογόνο ιό (μυξομάτωση). Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι η εσκεμμένη αυτή επέμβαση επάνω στα αυστραλιανά οικοσυστήματα έγινε για να αποκατασταθεί η ισορροπία τους που είχε σοβαρά διαταραχθεί από το άγριο κουνέλι, έναν εισβολέα αρχικά άσχετο με αυτά και γενικότερα άγνωστο στην Αυστραλία, απόγονο των κατοικίδιων κουνελιών που εισήγαγαν εκεί από την Ευρώπη οι Άγγλοι άποικοι.

Παραδείγματα επιδημιών που πλήττουν τον άνθρωπο αναφέρονται επίσης συχνά. Η εντομία υπολογίζεται ότι εξόντωσε το 95% των Ινδιάνων του Μεξικού ενώ το 90% των αυτόχθονων κατοίκων των νησιών της Χαβάης έχασαν την ζωή τους από ασθένειες που εισήχθησαν στα νησιά αυτά μετά την ανακάλυψή τους από τους λευκούς. Ανάλογα παραδείγματα αναφέρονται για τους Εσκιμώους και γενικά πολλούς απομονωμένους πληθυσμούς. Πιο δραματικό όμως παράδειγμα, και οπωσδήποτε πιο παραστατικό των κινδύνων που αποδίδονται στους βιοτεχνολογικούς χειρισμούς, είναι η επιδημία γρίπης του 1918 που θανάτωσε εκατομμύρια ανθρώπων σε όλο το δι-

τικό κόσμο, και στην Ελλάδα, και που πιστεύουμε πως οφειλόταν σε μία σοβαρής έκτασης τυχαία μεταλλαγή (genetic drift) της γενετικής σύνθεσης του ιού της γρίπης, πράγμα που τον κατέστησε ιδιαίτερα παθογόνο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να υπογραμμισθεί ότι η βιοτεχνολογία αναπτύσσεται σε μία εποχή που χαρακτηρίζεται από την έντονη δυσπιστία της κοινής γνώμης απέναντι στις διακηρύξεις - υποσχέσεις των νέων τεχνολογιών ως προς την έλλειψη επικίνδυνων επακόλουθων κατά την εισαγωγή και ενσωμάτωσή τους στην παραγωγική διαδικασία. Το πρόσφατο παρελθόν πείθει ότι σε πολλές περιπτώσεις η προσφυγή σε νέες τεχνολογίες συνεπάγεται κινδύνους που δεν είναι αρχικά ορατοί, πολλές φορές δεν αποφεύγονται, και γίνονται εμφανείς καθώς οι νέες τεχνολογίες αποκτούν ευρύτερη εφαρμογή. Μέσα στα πλαίσια αυτά, η σημασία της εισαγωγής ξένων μικροοργανισμών ήταν και είναι προφανής, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για παθογόνους παράγοντες.

Η χρήση μιας οικολογικής προσέγγισης κρίνεται ως ορθή για την εκτίμηση των περιβαλλοντολογικών κινδύνων που ανακύπτουν από τους μικροοργανισμούς με ανασυνδυασμένη γενετική ουσία, και ίσως ακόμη ως η μόνη δυνατή σήμερα, για δύο λόγους:

1. Οι μικροοργανισμοί φαίνεται προς το παρόν ότι είναι αυτοί που εμφανίζουν το πιο άμεσο ενδιαφέρον για την εφαρμοσμένη γενετική, και

2. Τα μικροβιακά οικοσυστήματα εμφανίζουν τις ίδιες οικολογικές ιδιότητες και διαδικασίες όπως τα συστήματα των ανώτερων οργανισμών. Έτσι, η πιθανότητα ενός οργανισμού να εγκατασταθεί και να διατηρηθεί σε ένα δοθέν περιβάλλον είναι οικολογικό πρόβλημα ανεξάρτητα από τη φύση ή την προέλευση που το καθιστούν «εξωτικό» ή «νέο». Ακόμη, το ποσοστό του «νέου» γεννώματος δεν συναρτάται αναγκαστικά με το βαθμό των επιπτώσεων που ένας οργανισμός μπορεί να προκαλέσει σε ένα οικολογικό σύστημα.

Στην ουσία, ένας εισαγόμενος οργανισμός που είναι παρόμοιος με αυτούς με τους οποίους θα πρέπει να συναγωνιστεί, είναι πιο πιθανό να επιζήσει από ότι ένας οργανισμός μέτριος ή πολύ διαφορετικός. Σ' αυτή την περίπτωση ο όρος «παρόμοιος» συνεπάγεται ότι το φάσμα των περιβαλλοντολογικών παραμέτρων (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, είδος κατοικίας κ.λπ.), που μπορεί να ανεχθεί ένας οργανισμός, υπερκαλύπτει το φάσμα που ανέχεται ένας άλλος. Βλέποντάς το από μία άλλη σκοπιά, δεν θα μπορούσε να περιμένει κανένας από ένα βακτηρίδιο τους εδάφους να έχει ανάγκες παραπλήσιες με ένα υδρόβιο βακτηρίδιο. Δυστυχώς όμως, αν βασιστούμε στις σημερινές οικολογικές γνώσεις, δεν μπορούμε να κάνουμε ποσοτικό υπολογισμό του κινδύνου οικολογικής βλάβης από την εισαγωγή «εξωτικών» οργανισμών σε εξισορροπημένα οικοσυστήματα, και πολύ λιγότερο, σε οικοσυστήματα που για κάποιο λόγο βρίσκονται απομακρυσμένα από τη θέση της δυναμικής τους ισορροπίας.

Η σημαντικότερη κατηγορία αντιρρήσεων στην απελευθέρωση στο περιβάλλον οργανισμών που παράγονται με τις μεθόδους της γενετικής μηχανικής βασίζεται στο φόβο ότι τέτοιοι οργανισμοί ενδέχεται να επιβιώσουν στο περιβάλλον και να καταστρέψουν τα υπάρχοντα οικοσυστήματα. Η εκτίμηση ενός τέτοιου περιβαλλοντολογικού κινδύνου εμπεριέχει μία οικολο-

γική ερώτηση ανάλογη με αυτή που τίθεται κατά την εισαγωγή στα οικοσυστήματα ενός «εξωτικού» είδους, το οποίο είναι γνωστό ότι προκαλεί σοβαρές οικολογικές ρήξεις. Εντούτοις, μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αναφέρεται σε τέτοιες εξωτικές εισαγωγές αποκαλύπτει ότι τα αλλότρια είδη δεν προκαλούν πάντοτε, ή στερεότυπα, δυσμενείς μεταβολές. Οι οικολόγοι πιστεύουν ότι ένα τμήμα μόνο των ειδών που μεταναστεύουν προκαλεί όντως οικολογική ανατροπή, ενώ η πλειοψηφία αποτυγχάνει να διεισδύσει σε υπάρχοντα βιοτικά σύνολα. Ωστόσο, τα βιοτικά σύνολα που είτε είναι απλά στη δομή τους είτε βρίσκονται υπό πίεση είναι πιο ευάλωτα σε εισβολές. Δυστυχώς, επειδή υπάρχουν πολύ λίγες πληροφορίες για να τεκμηριώσουν τον αριθμό ή τις αιτίες των αποτυχημένων εισαγωγών ειδών, είναι αδύνατο και πάλι να ποσοτικοποιήσουμε την πιθανότητα ότι ένα εισαγόμενο είδος θα προκαλέσει ή όχι σοβαρές διαταραχές, βασιζόμενοι απλώς στις ιστορικές ενδείξεις.

Τέλος, η ανάπτυξη και εξάπλωση των γονοτύπων που προσφέρουν αντίσταση σε εντομοκτόνα και ουσίες ελέγχου μικροοργανισμών είναι ανάλογη προς τη γενετική μηχανική ως προς το ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλει στην εξάπλωση νέων γονοτύπων. Τόσο στα έντομα, όσο και τα μικρόβια, ανθεκτικοί γονότυποι μπορούν να επικρατήσουν με μεγάλη ταχύτητα ακόμα και σε γεωγραφικά εξαπλωμένους πληθυσμούς. Η αντίσταση των εντόμων στα εντομοκτόνα συνήθως καθορίζεται από μεμονομένα γονίδια.

Η οικολογική πλευρά της θεωρίας της εξέλιξης

Ο κοινός παρονομαστής που μπορεί να αναζητηθεί τόσο στις οικολογικές επιπτώσεις της εισαγωγής «νέων» ή «εξωτικών» ειδών σε ένα οικοσύστημα, όσο και στον προσδιορισμό των επιπτώσεων της απελευθέρωσης στο περιβάλλον οργανισμών με ανασυνδυασμένο γονιδιακό υπόστρωμα ή ακόμη και στην ανάπτυξη ανθεκτικών γονοτύπων στα εντομοκτόνα ή τα αντιβιοτικά, είναι οι μηχανισμοί φυσικής επιλογής που, σε τελική ανάλυση, αποτελούν το οργανωτικό υπόστρωμα των οικολογικών διεργασιών.

Η φυσική επιλογή είναι στατιστικό φαινόμενο, πράγμα που σημαίνει απλά ότι ο καλύτερος γονότυπος έχει, σύμφωνα με τα λόγια του Δαρβίνου, «περισσότερες πιθανότητες να επιζήσει». Ως στατιστικό λοιπόν φαινόμενο, η φυσική επιλογή δεν είναι προσδιοριστική (deterministi) και επομένως τα αποτελέσματά της δεν είναι αυστηρά προκαθορισμένα, τουλάχιστον στο επίπεδο του ατόμου ή ακόμα και του πληθυσμού σε μία μεμονωμένη χρονική στιγμή, και το γεγονός αυτό γίνεται ιδιαίτερα αισθητό σε ένα μεταβλητό περιβάλλον. Έτσι, πρέπει να σημειωθεί ότι η φυσική επιλογή ευνοεί (ή καταδικάζει) γονίδια ή γονότυπους μόνον έμμεσα μέσω των φαινοτύπων που παράγουν. Όπου οι γονοτυπικές διαφορές δεν εκφράζονται, όπως π.χ. στην περίπτωση των μη εκφραζόμενων υπολειπόμενων γονιδίων, αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι διαφορές αυτές να είναι απροσπέλαστες στους μηχανισμούς της επιλογής, και κατά συνέπεια, σε τελική ανάλυση άσχετες μ' αυτήν.

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της φαινοτυπικής ποικιλομορφίας με την οποία «δουλεύει» η φυσική επιλογή, είναι αποτέλεσμα ανασυνδυασμού και όχι νέων μεταλλάξεων. Το γεγονός δε, ότι η προσαρμογή

καθορίζεται από το φαινότυπο, είναι η αιτία για την εξαιρετική σπουδαιότητα που έχουν για την εξέλιξη οι διαδικασίες της ανάπτυξης οι οποίες διαμορφώνουν το φαινότυπο. Ο φαινότυπος σε δεδομένη στιγμή αποκαλύπτει μέρος μόνο του δυναμικού του γονότυπου. Ο ίδιος γονότυπος μπορεί να παραγάγει διαφορετικούς φαινότυπους σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος. Ακραίες περιβαλλοντολογικές συνθήκες π.χ. ενδέχεται να αποκαλύψουν δυνατότητες ανάπτυξης που δεν εκφράζονται υπό φυσιολογικές συνθήκες. Επιτρέπουν δηλ. την εκδήλωση γενετικών παραγόντων που φυσιολογικά δεν προσεγγίζουν τον ουδό (κατώφλι) της φαινομενοτυπικής έκφρασης. Ιδιαίτερα εντυπωσιακή είναι η εξαιρετική ευαισθησία της διαδικασίας επιλογής ακόμα και σε ελαφρές μεταβολές του περιβάλλοντος. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλές περιπτώσεις γονιδίων ή και συγκροτημάτων γονιδίων τα οποία προικίζουν το σύστοιχο οργανισμό με μεγαλύτερες πιθανότητες επιβίωσης σε ένα περιβάλλον π.χ. 25° C αλλά είναι ουδέτερα ή και ασκούν «βλαπτική» δράση σε περιβάλλον π.χ. 16° C.²

Η αποτελεσματικότητα της φυσικής επιλογής σε πολλές περιπτώσεις παρενοχλεί τον άνθρωπο. Έτσι:

1. Σε περιοχές όπου γίνεται ευρεία χρήση εντομοκτόνων παρατηρείται ταχεία ανάπτυξη ανθεκτικών στελεχών εντόμων.

2. Η χρήση αντιβιοτικών συνεπάγεται ανάπτυξη αντίστασης σ' αυτά από ορισμένα τουλάχιστον στελέχη μικροβίων. Η ανθεκτικότητα αυτή είναι το αποτέλεσμα της επιλογής ολιγαριθμών μεταλλάξεων ανθεκτικότητας ή ανασυνδυασμού των γονιδίων όπως ακριβώς συμβαίνει και στους ανώτερους οργανισμούς.

3. Η ανθεκτικότητα σε ένα νόσημα μπορεί να προσδώσει αποφασιστικά πλεονεκτήματα σε ένα άτομο (και είδος) σε σχέση με ένα άλλο άτομο (είδος), συναγωνιστικό, το οποίο δεν είναι άνοσο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δύο γονότυποι διαφέρουν στις ανοσολογικές τους ιδιότητες και καθιστά τα νοσήματα έναν μεγίστης σπουδαιότητας παράγοντα επιλογής.

Η προσαρμογή είναι ιδιότητα του γονότυπου ως σύνολο. Ο φαινότυπος είναι προϊόν συμβιβασμού που επιβάλλεται από την ανάγκη ισορροπίας. Έτσι, όταν μιλάμε για την εξέλιξη, ως άμεση συνέπεια των διαδικασιών επιλογής που διέπουν το βιολογικό «γίγνεσθαι» (process), δεν θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας μία διαδικασία «όλον ή ουδέν». Η γενετική ποικιλομορφία είναι εκπληκτικά τεράστια σε έκταση και δεν συνίσταται απλώς στην παραγωγή μερικών νέων τύπων. Η φυσική επιλογή ευνοεί ορισμένα άτομα εξαιτίας των γενετικών τους ιδιοτήτων. Υπάρχουν ιδιότητες που θα μπορούσαμε να πούμε ότι προσδίδουν ισχυρά πλεονεκτήματα επιλογής στους πληθυσμούς ως σύνολα, αλλά όχι αναγκαστικά, τουλάχιστον σε μία πρώτη ματιά, σε επιμέρους άτομα (γονότυπους) αυτών των πληθυσμών. Ακόμη, από τη στιγμή που θα ορίσουμε την εξέλιξη ως διαφορική αναπαραγωγή, γίνονται εμφανείς οι δημιουργικές πλευρές της. Οι φαινοτυπικοί χαρακτήρες είναι το προϊόν ανάπτυξης μιας πολύπλοκης αλληλοεπίδρασης γονιδίων, και αφού η επιλογή διέπει και κατευθύνει τη συνθήκη αυτών των γονιδίων, δικαιολογείται να ισχυρισθεί κάποιος ότι η επιλογή δημιουργεί ανώτερους συνδυασμούς γονιδίων (Dobzhansky).³

Οι εξελικτικές διαδικασίες σε όλα τα επίπεδα μετάδοσης της γενετικής πληροφορίας διαμορφώνονται σε μεγάλο βαθμό από

τυχαία γεγονότα. Η σπουδαιότητά τους όμως ως καθοριστών της διεύθυνσης της εξέλιξης είναι ακόμα αμφιλεγόμενη. Παλιότερα, ήταν της μόδας να αποδίδεται κάθε παράδοση εξελικτική μεταβολή σε γενετική εκτροπή (genetic drift) που ο Dobzhansky όρισε το 1951 ως «τυχαίες διακυμάνσεις στις συχνότητες των γονιδίων μικρών πληθυσμών». Γενικά, διακρίνουμε τρεις τύπους γενετικών φαινομένων όπου το τυχαίο μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες, θεωρώντας πάντοτε ότι τα τυχαία φαινόμενα επηρεάζουν τα δείγματα που υπόκεινται σε φυσική επιλογή, αλλά πουθενά δεν παρεμβαίνουν στην επιλογή αυτή καθαυτή.

1. Τυχαίες διακυμάνσεις. Ατυχήματα κατά την επιλογή των δειγμάτων συμβαίνουν σε όλους τους βιολογικούς πληθυσμούς. Η εξελικτική σπουδαιότητά τους εξαρτάται από τη συμβολή των εμπλεκόμενων γονιδίων στην προσαρμοστικότητα του φαινότυπου όπως και από το μέγεθος του υπάρχοντος πληθυσμού, την απομόνωσή του και τη μακροδιότητά του.

2. Η αρχή του θεμελιωτή. Ο όρος αυτός που εισήχθει από τον Mayr το 1942 υποδηλώνει την εγκαθίδρυση ενός νέου πληθυσμού από λίγους αρχικούς θεμελιωτές (σε ακραία περίπτωση από ένα γονιμοποιημένο θήλυ το οποίο φέρει μόνο ένα μικρό τμήμα της συνολικής γενετικής ποικιλομορφίας του προγονικού πληθυσμού). Ο πληθυσμός των απογόνων περιέχει, αρχικά, μόνο τα σχετικά λίγα γονίδια που έφεραν οι θεμελιωτές του πληθυσμού, κατάσταση που διαρκεί μέχρι την επαναφόρτιση του πληθυσμού που μπορεί να επισυμβεί είτε με μετανάστευση ή με επακόλουθες μεταλλάξεις. Η αρχή του θεμελιωτή μπορεί να εξηγήσει τη γονοτυπική και φαινομενική ομοιομορφία που συναντάμε σε αποικίες ζώων και απομονωμένους πληθυσμούς.

3. Επιλεκτική ισοδυναμία των γονοτύπων. Είναι ίσως η μεγαλύτερη πηγή τυχαίου και απροσδιοριστίας στην εξέλιξη. Δηλαδή από τη στιγμή που οι φαινότυποι θεωρούνται το προϊόν της αλληλοεπίδρασης και συνεργασίας πολλών γονιδίων, είναι δυνατόν διαφορετικές συναρμογές γονιδίων να παραγάγουν φαινότυπους που αντιδρούν ταυτόσημα σε μία οποιαδήποτε επιλεκτική πίεση. Έτσι, η απροσδιοριστία των επιλεκτικών πλευρών του γονοτυπικού ανασυνδυασμού είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας τύχης στην εξέλιξη.⁴

Η επίδραση του τυχαίου στη γενετική ποικιλομορφία είναι αμφίπλευρη. Μπορεί να επιταχύνει την εξάντληση της γενετικής ποικιλομορφίας δια της τυχαίας σταθεροποίησης, όπως μπορεί και να επιβραδύνει την εξαφάνιση μειονεκτικών παροδικά γονιδίων. Πάντως ευνοεί χωρίς αμφιβολία τη μη προσδιορίσιμη πλευρά της εξέλιξης. Κατά συνέπεια, θα ήταν τελείως παραπλανητικό να πει κανείς ότι το τυχαίο κατευθύνει αποκλειστικά το δρόμο της εξέλιξης. Αν το τυχαίο έχει κάποια επίδραση στη διεύθυνση της εξέλιξης, αυτή είναι ότι την κλονί-

1. Γ. Ανωγειανίκης-J. Levett «Βιοτεχνολογία και βιολογική ασφάλεια» Σύγχρονα Θέματα (1984) τευχ. 20.

2. E. Mayr: «Populations, species and evolution». Harvard Univ. Press (1971).

3. T. Dobzhansky «Genetics and the origins of species». Columbia Univ. Press (1951).

4. E. Mayr ο.π.

ζει κατά συχνά χρονικά διαστήματα και μπορεί κατά περίπτωση να ευθύνεται για άλματα σε άλλα μονοπάτια. Ας θυμηθούμε ότι η εξελικτική αλλαγή είναι διαδικασία δύο σταδίων:

1. Της γένεσης της γενετικής ποικιλομορφίας όπου έχουμε πλήρη επικράτηση του τυχαίου, και
2. Της επιλογής των γονοτύπων που θα παραγάγουν την επόμενη γενεά.

Στο δεύτερο αυτό στάδιο επικρατεί η φυσική επιλογή ενώ το τυχαίο παίζει ένα λιγότερο σημαντικό ρόλο. Το τυχαίο οδηγεί σε «αταξία» ενώ η επιλογή σε «τάξη». Το τυχαίο είναι μη προσανατολισμένο ενώ η επιλογή προσανατολισμένη. Το τυχαίο συχνά είναι καταστρεπτικό ενώ η επιλογή πολλές φορές δημιουργική. Παρ' όλα αυτά, τόσο η επιλογή όσο και το τυχαίο είναι στατιστικά φαινόμενα και κατ' αυτό τον τρόπο, όχι μόνο συνυπάρχουν, αλλά, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί, συνεργάζονται αρμονικά (αρχή των αυτοοργανώμενων συστημάτων στη βιολογία).

Απόψεις από τη θεωρία της δυναμικής των οικολογικών συστημάτων

Η μελέτη της δυναμικής των βιολογικών πληθυσμών έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια σε ένα πεδίο εξαιρετικής πρακτικής και θεωρητικής σημασίας για την κατανόηση των οικολογικών φαινομένων. Έχει ιδιαίτερη αξία στην περίπτωση της προσπάθειας να αξιολογηθούν τόσο οι δυνατόι όσο και οι πιθανοί κίνδυνοι που θα συνοδεύουν την εισαγωγή στα σύγχρονα οικοσυστήματα οργανισμών με «κατασκευασμένα» γενώματα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι, η δυναμική θεώρηση στηρίζεται στην παραδοχή ότι η μελλοντική εξέλιξη κάθε εξεταζόμενου συστήματος καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την προϊστορία του σε συνάρτηση με τις δυνάμεις που τείνουν να το απομακρύνουν από την εκάστοτε κατάσταση ισορροπίας του. Έτσι, αντικείμενο της δυναμικής μπορούν να θεωρηθούν τα συστήματα που παρουσιάζουν «μνήμη», ή καλύτερα, χρονική και λειτουργική «υστέρηση» στην εμφάνιση του αιτιατού σε σχέση με το αίτιο, και επομένως η δυναμική των βιολογικών πληθυσμών αποτελεί τη μόνη ίσως λογική βάση εξέτασης των αποτελεσμάτων (δηλ. συστημάτων που χαρακτηρίζονται από πολύπλοκες και πολλές φορές βραδυφλεγείς αλληλοεπιδράσεις ανάμεσα στα μέρη που τα αποτελούν). Πρέπει όμως να σημειωθεί όπως πολύ πειστικά υποστηρίζει ο Daniel Shmberloff,⁵ ότι το σημερινό επίπεδο ανάπτυξης της οικολογικής θεωρίας απέχει πολύ από το να μπορεί να προλέγει το αποτέλεσμα τόσο της εισαγωγής νέων ειδών σε υπάρχοντα οικοσυστήματα, όσο και την εξέλιξη των οικολογικών κρίσεων. Αυτό οφείλεται σε δύο βασικούς λόγους:

1. Τη γενικότερη έλλειψη δεδομένων γύρω από τις διεργασίες που συμβαίνουν μέσα στα πλαίσια ενός οικοσυστήματος και
2. Την ίδια την επιστημολογική βάση της οικολογικής θεωρίας.

Η έλλειψη δεδομένων για τις οικολογικές διεργασίες, ιδιαίτερα σε ότι αφορά την εισβολή «εξωτικών» οργανισμών σε ήδη οργανωμένα οικοσυστήματα, είναι αποτέλεσμα του γεγονότος, ότι, στην καλύτερη περίπτωση, γίνονται γνωστές μόνο εκείνες οι εισβολές κατά τις οποίες οι εισβολείς κατορθώνουν να αποκτήσουν προγεφυρώματα στο οικοσύστημα που προσβάλλουν ή

να προκαλέσουν κάποια μείζονα οικολογική κρίση. Η κατάσταση αυτή επιτείνεται από το γεγονός ότι ένα μεγάλο, αν όχι το μεγαλύτερο, μέρος των επιτυχών εισβολών οικοσυστημάτων από άγνωστους σ' αυτά οργανισμούς αντιπροσωπεύουν, ανθρώπινες παρεμβάσεις με σκοπό τη μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης των οικοσυστημάτων αυτών. Στην πλειοψηφία τους τέτοιες παρεμβάσεις συνοδεύονται από μείζονες προσπάθειες αποτροπής της απόρριψης του εισβολέα από το οικοσύστημα και επομένως βαθιάς αλλοίωσης της φυσιολογικής λειτουργίας και των μηχανισμών αντίδρασης του οικοσυστήματος. Αντίστροφα, στις περιπτώσεις εκείνες όπου η εισβολή λειτούργησε αρνητικά ή είχε ως αποτέλεσμα μια εκτεταμένη οικολογική κρίση, οι αρνητικές επιπτώσεις δεν αφέθηκαν σχεδόν ποτέ να ολοκληρωθούν ανεξέλεγκτα, αλλά αντιμετωπίστηκαν σε κάποια φάση της εξέλιξής τους με μέτρα που στόχευαν στην ανάταξη της ισορροπίας του οικοσυστήματος. Τέλος, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι, πέρα από τα ελλειπή στοιχεία που υπάρχουν για τις ανθρώπινες επεμβάσεις που έγιναν στο παρελθόν για την μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης διαφόρων οικοσυστημάτων, δεν υπάρχουν σοβαρά στοιχεία για το φυσιολογικό ρυθμό αλληλοεισβολών ανάμεσα σε γειτονικά οικοσυστήματα.

Η σύγχρονη οικολογική θεωρία προσδίδει ότι ένας αποικιστής, όταν εγκαταλείπει τα όρια του είδους, αδυνατεί σε γενικές γραμμές να βρει ένα περιβάλλον αντίστοιχο προς αυτό που εγκατέλειψε. Αυτό είναι αποτέλεσμα του ότι κάθε οργανισμός έχει διαπλαστεί μέσα από εξελικτικές διεργασίες που, όπως είδαμε, εξασφαλίζουν, τουλάχιστο στο επίπεδο του είδους, τη μεγιστοποίηση της προσαρμογής του στο ιδιαίτερο περιβάλλον που περικλείεται από τα όρια του είδους. Ταυτόχρονα όμως, το οποιοδήποτε άτομο μπορεί να ευδοκιμήσει ως αποικιστής σε ένα νέο περιβάλλον εφόσον έχει τη δυνατότητα να μην ικανοποιήσει ορισμένες από τις οικολογικές του ανάγκες ή να τις ικανοποιήσει με «ανορθόδοξους» τρόπους (μετατόπιση των οικολογικών αναγκών). Τα είδη απαρτίζονται από επιμέρους τοπικούς πληθυσμούς και οι πληθυσμοί αυτοί διαφέρουν, περισσότερο ή λιγότερο, από τον στατιστικό μέσο όρο που χαρακτηρίζει το είδος σε κάθε ένα από τα γνωρίσματά τους (μορφολογικά ή λειτουργικά), μια και ο κάθε πληθυσμός είναι προσαρμοσμένος στο ιδιαίτερο περιβάλλον του. Έτσι, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η αμφίδρομη ροή των γονιδίων και μόνο, ανάμεσα στους πληθυσμούς που απαρτίζουν το εκάστοτε είδος, είναι η συνεκτική δύναμη που συγκροτεί το είδος σε μια ιδιαίτερη βιολογική οντότητα.

Λογική επέκταση της θεώρησης αυτής είναι ότι κάθε είδος περιέχει ορισμένα άτομα που έχουν τη δυνατότητα να μεταδιηθούν σε αποικιστές με το να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές πηγές για την κάλυψη των αναγκών τους, εκμεταλλευόμενα δηλ. τις διαφορετικές δυνατότητες που τους προσφέρει μία νέα οικολογική φωλεά. Η αποικία θα επιτύχει (μονιμοποιηθεί και ίσως ολοκληρωθεί στο νέο οικοσύστημα) εφόσον οι αποικιστές είναι προικισμένοι με τις γενετικές πληροφορίες που θα τους επιτρέψουν να αντισταθούν στις αντιξοότητες της νέας τους οικολογικής φωλεάς, πράγμα που με τη σειρά του επιτρέπει να υ-

5. D. Shmberloff: «Community effects of introduced species» στο «Biotic crisis in ecological and evolutionary time» Ed. by M. Nitecki. Academic Press (1981).

ποθέσουμε ότι φυσιολογικά οι αποικιστικές κινήσεις στη φύση πρέπει να συμβαίνουν συχνά, τουλάχιστον σε οικοσυστήματα που είναι «ανοιχτά» με την έννοια ότι είναι δυνατή η διάβαση των ορίων τους από άτομα που ανήκουν σε είδη ξένα προς αυτά (π.χ. δεν περιβάλλονται από αδιαπέραστα γεωγραφικά εμπόδια κ.λπ.). Έτσι, οι μόνοι καθοριστικοί παράγοντες της τελικής επιτυχίας μιας προσπάθειας αποικισμού είναι:

1. Η καταλληλότητα του γενετικού υποστρώματος των αποικιστών, και
2. Η επίτευξη μιας «κριτικής μάζας» ατόμων που θα επιτρέψει τη συνέχιση του είδους στη νέα οικολογική φωλεά.

Η παραπάνω θεώρηση των αποικισμών που φυσιολογικά παρατηρούνται στη φύση, περιπλέκεται και από το γεγονός ότι ένας μεγάλος αριθμός τους κατά πάσα πιθανότητα επισυμβαίνει χωρίς να συναντήσει αντίδραση από τα «προσβαλλόμενα» οικοσυστήματα. Η άποψη αυτή στηρίζεται στις ενδείξεις που υπάρχουν για την ύπαρξη κενών ή μερικά μόνο κατειλημμένων οικολογικών φωλεών σε κάθε οικοσύστημα σχεδόν, ακόμη και σε οικοσυστήματα με πολύ αναπτυγμένες, περίπλοκες και εξισορροπημένες τροφικές αλυσίδες. Ο Elton χρησιμοποιεί ως παράδειγμα τις επιτυχίες στη μεταφορά ζωικών ειδών από οικοσύστημα σε οικοσύστημα για να υπογραμμίσει το φαινόμενο αυτό. Ο Mac Arthur⁶ χρησιμοποιεί το ίδιο φαινόμενο για να εξηγήσει τη μεγαλύτερη ποικιλία ζώων που γενικά απαντάται στους τροπικούς, απορρίπτοντας την ύπαρξη επιταχυνμένων ρυθμών γένεσης νέων ειδών στους τροπικούς. Τέλος ο Mayr υπογραμμίζει ότι, παρά τις ενδείξεις ύπαρξης ανταγωνισμού, το μέγεθος της εισβολής της Μεσογείου από ψάρια και άλλα υδρόβια είδη της Ερυθράς θάλασσας μετά τη διάνοιξη της διώρυγας του Σουέζ (γεγονός που δε φαίνεται να είχε καταστροφικές οικολογικές συνέπειες στα μεσογειακά οικοσυστήματα), μπορεί να εξηγηθεί μόνον εάν υποθέσουμε ότι η Μεσόγειος διέθετε έναν μεγάλο αριθμό κενών ή μερικά μόνο κατειλημμένων οικολογικών φωλεών που καταλήφθηκαν από τους εισβολείς.

Είναι δυνατό να υποθέσει κανείς ότι η κατάσταση αυτή σκιαγραφείται ακόμη πιο έντονα στους εξελικτικά κατώτερους οργανισμούς. Ωστόσο παρατηρείται ότι οι διαστάσεις του προβλήματος που καθορίζουν την επιτυχία ή όχι μιας εισβολής ποικτούν διαφορετική βαρύτητα όσο χαμηλότερα εξετάζει κανείς την εξελικτική κλίμακα. Τα σπονδυλωτά, π.χ. έχουν μεγαλύτερη δυσκολία στη διάβαση των γεωγραφικών εμποδίων στην εξάπλωσή τους, ενώ τα φυτά, που είναι προικισμένα με ιδιαίτερες ικανότητες εξάπλωσης, περιορίζονται από κλιματολογικούς παράγοντες. Τέλος, για τους μικροοργανισμούς, είναι δύσκολο και να διατυπωθούν ακόμα ελέγξιμες υποθέσεις, μια και η εισαγωγή τους σε ένα οποιοδήποτε περιβάλλον μπορεί να παραμείνει άγνωστη εκτός από τις περιπτώσεις που είναι φανερά παθογόνοι στα μέλη του «προσβληθέντος» οικοσυστήματος.

Πέρα από τη γενικότερη έλλειψη στοιχείων, η ίδια η επιστημολογική βάση της οικολογικής θεωρίας την καθιστά περίπου αδύναμη στο θέμα της πρόβλεψης των συνεπειών των τεχνολογικών επεμβάσεων στα οικοσυστήματα. Χρησιμοποιώντας σχεδόν αποκλειστικά την προσέγγιση του φυσιοδίφη, η οικολογική θεωρία στηρίζεται στην παρατήρηση παρά στο πείραμα, ενώ παράλληλα εξαρτάται από μία επιστημονική παράδοση που ανέκαθεν στόχευε στην παρουσίαση μιας ενοποιημένης θεωρίας

της βιολογικής διαχρονικής εξέλιξης. Παρ' όλο που η προσέγγιση αυτή αποτέλεσε το θεμέλιο λίθο της ταξινομίας, της θεωρίας της εξέλιξης και της οικολογίας, πάσχει από το γεγονός ότι αναγκαστικά οδηγεί στη χρήση ιδιαίτερα αφηρημένων εννοιών. πολλές φορές δανεισμένων από το χώρο της φιλοσοφίας, για την περιγραφή βιολογικών αλληλοεπιδράσεων, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία της να περιγράψει τη δυναμική φύση των φαινομένων που απαντώνται στα πραγματικά (και όχι εξιδανικευμένα) οικοσυστήματα.

Παρ' όλα αυτά πρέπει να αναγνωριστεί ότι μεγάλες προσπάθειες έχουν καταβληθεί στον τομέα της προσομοίωσης των οικοσυστημάτων μέσα στα πλαίσια της σύγχρονης οικολογικής θεωρίας. Ο λόγος όμως για τον οποίο οι προσπάθειες αυτές απέτυχαν στη διατύπωση προτύπων τα οποία είναι αρκετά γενικευμένα και ταυτόχρονα ικανά να προβλέψουν τη μελλοντική συμπεριφορά των προσομοιωμένων οικοσυστημάτων, πρέπει να αναζητηθεί στο γεγονός ότι και ο όγκος των δεδομένων που απαιτούνται είναι τεράστιος αλλά και η πειραματική επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων δυσχερέστατη. Έτσι, ακόμη και αν τα δεδομένα υπάρχουν, είναι αδύνατη η τροποποίηση του υποδείγματος με βάση τα πειραματικά δεδομένα έτσι ώστε να αυξηθεί η ικανότητα πρόβλεψης.

Σύγχρονες τοποθετήσεις

Οι σημερινές εκτιμήσεις των διαθέσεων και απαιτήσεων της κοινής γνώμης τουλάχιστον στη Βόρεια Αμερική ως προς την ακολουθητέα πολιτική στη βιοτεχνολογία μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

Ο προσδιορισμός των ορίων και η ανάπτυξη ενός συνόλου πληροφοριών και κανόνων βάσης που θα επιτρέψουν την ορθολογική εκτίμηση των κινδύνων που σχετίζονται με τη δημόσια υγεία και τα οικοσυστήματα μετά από ηθελήμενη αποδέσμευση στο περιβάλλον γενετικά επεξεργασμένων οργανισμών πρέπει να βασίζονται στις ακόλουθες αρχές:

α. Στις ιδιαίτερότητες που εμφανίζει η βιοτεχνολογία ως τεχνολογία αιχμής.

β. Στον υπολογισμό του «μέγιστου πιθανού οικολογικού κόστους» που είναι δυνατόν να προκύψει από την οποιαδήποτε βιοτεχνολογική εφαρμογή.

Η τοποθέτηση αυτή είναι ουσιαστικά άχρωμη και τεχνοκρατική. Δεν είναι συμβατή με τις διακηρύξεις οποιουδήποτε Οικολογικού Χάρτη ή μανιφέστου, μια και εγκαταλείπει την έννοια της «διατήρησης του οικοσυστήματος» και υιοθετεί την έννοια του «ανεκτού οικολογικού κόστους», ενώ ταυτόχρονα αναγνωρίζει την ανάγκη της προσφυγής στη βιοτεχνολογία χαρακτηρίζοντάς την ως αναπτυξιακό παράγοντα. Είναι επίσης σαφώς «αντιεπιχειρηματική» με την έννοια ότι προϋποθέτει τον έλεγχο των βιοτεχνολογικών εφαρμογών με βάση κάποιους κανόνες παιχνιδιού που από τη φύση τους χρειάζονται ανοιχτές διαδικασίες για να λειτουργήσουν, συνεχή έλεγχο των αποτελεσμάτων της οιασδήποτε εφαρμογής (δεδομένης της ιδιαιτερότητας τόσο του κάθε οργανισμού - προϊόντος όσο και

6. R. H. M^c Arthur «Patterns of Communities in the tropics» Biol. J. Linn. Soc. 1: 19-30 (1969).

των οικοσυστημάτων μέσα στα οποία θα απελευθερωθεί) και τέλος, ίσως θυσιάζει, σε μερικές τουλάχιστον περιπτώσεις, την έννοια του εμπορικού απορρήτου.

Οι λόγοι που οδήγησαν σε μια τέτοια τοποθέτηση πρέπει να αναζητηθούν στις προσδοκίες της κοινής γνώμης για τα αποτελέσματα της βιοτεχνολογικής ανάπτυξης τόσο στο ερευνητικό όσο και στο οικονομικό επίπεδο, στην προϊστορία των ανησυχιών της κοινής γνώμης που συνόδευσαν τον μέχρι σήμερα σχηματισμό των βιοτεχνολογικών τεχνικών και της βιοτεχνολογίας γενικότερα και τέλος στο νομοθετικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί για την προστασία του περιβάλλοντος και την αστική ευθύνη των κατασκευαστών για την ποιότητα των προϊόντων τους (product liability). Η ευθύνη αυτή επεκτείνεται όχι μόνο στους τομείς της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, αλλά και στις απροσδόκητες και τυχόν δυσμενείς οικονομικές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η χρήση των προϊόντων στους χρήστες.

Η πιο ακριβής σύνοψη των προσδοκιών του ευρέος κοινού για τα μελλοντικά επιτεύγματα της βιοτεχνολογίας περιλαμβάνεται στην ομιλία - κατάθεση του Martin Alexander, καθηγητή του πανεπιστημίου Cornell, στις υποεπιτροπές «ελέγχου και επιτήρησης» και «Επιστήμης, Έρευνας και Τεχνολογίας» της Αμερικανικής Βουλής των Αντιπροσώπων (22 Ιουνίου 1983). Η κατάθεση αναφερόταν στη διένεξη για τα οφέλη και τους κινδύνους της γενετικής μηχανικής.⁷

«Από την αρχή θα ήθελα να αναφέρω την πεποίθησή μου ότι η γενετική μηχανική θα είναι εξαιρετικά ωφέλιμη για την ανθρωπότητα. Νομίζω ότι βρισκόμαστε στην αρχή μιας περιόδου της ιστορίας στην οποία θα συμβούν μεγάλες αλλαγές τόσο στην γεωργία και την βιομηχανία όσο και στις τεχνολογίες που στοχεύουν στη διατήρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Όλες αυτές θα είναι αποτέλεσμα της δημιουργίας νέων και πρωτότυπων γονοτύπων. Στη γεωργία θα δημιουργηθούν νέες ποικιλίες φυτών και θα κατασκευαστούν εμβόλια και άλλα προϊόντα που θα αυξήσουν την παραγωγή κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων. Από τις εξελίξεις αυτές θα ωφεληθούν οι βιομηχανίες παρασκευής χημικών ουσιών, φαρμακευτικών προϊόντων και τροφίμων. Τέλος, πιστεύω ότι θα δημιουργηθούν μικροοργανισμοί και θα επινοηθούν μέθοδοι που θα καταστρέφουν τους ρύπους οι οποίοι φυσιολογικά αποσυντίθενται με σχετικά πολύ μικρή ταχύτητα από τους βιολογικούς οργανισμούς».

Στο επίπεδο των αρμόδιων διακρατικών οργάνων (π.χ. FAST, αποτελεί μια κοινή πεποίθηση ότι ο κατάλογος των προϊόντων της βιοτεχνολογίας θα περιλάβει στα επόμενα 20 χρόνια προϊόντα και μεθόδους που θα επιτρέψουν:

- α. Την ανάπτυξη νέων κυτταρικών ποικιλιών και οργανισμών προικισμένων με ικανότητες που θα επιτρέπουν την άμεση ή «εντατικοποιημένη» παραγωγή τροφίμων, ζωοτροφών, φαρμακευτικών προϊόντων, χημικών ουσιών και ενέργειας.
- β. Τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για βιομηχανικούς σκοπούς, την επεξεργασία των βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων, την ανακύκλωση ορισμένων κατηγοριών σπάντων πρώτων υλών ή τη μετατροπή τους σε πρώτες ύλες υψηλής περιεκτικότητας σε δραστικές ουσίες και, επομένως,

σε προϊόντα (επ)αυξημένης αξίας κατάλληλα για περαιτέρω βιομηχανική επεξεργασία και αξιοποίηση.

γ. Την ανάπτυξη περισσότερο αξιόπιστων και φθηνότερων μεθόδων τοξικολογικού ελέγχου και αξιολόγησης των φαρμακευτικών ιδιοτήτων των νέων φαρμάκων και ασυνήθιστων χημικών ενώσεων (fine chemicals). Παράλληλα, τη δημιουργία ειδικών μακρομορίων σχεδιασμένων με την βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών, πράγμα που θα επιτρέψει την ορθολογική αξιοποίηση των στερεοχημικών ιδιοτήτων των στοιχείων (μονάδων) που τα συνθέτουν έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά με τα οποία θα είναι προικισμένα, και τέλος,

δ. Τον καθαρισμό του περιβάλλοντος από τοξικές χημικές ουσίες που είτε έχουν συσσωρευθεί σε ειδικές αποθήκες είτε έχουν μολύνει και ουσιαστικά σχεδόν καταστρέψει μια σειρά από υπάρχοντα οικοσυστήματα (π.χ. θαλάσσιες κηλίδες πετρελαίου, ανάταξη οικολογικών ατυχημάτων-καταστροφών τύπου Seveso, Love Canal και Times Beach ίσως μάλιστα και περιπτώσεις όπως του Αργοσαρωνικού). Ακόμα τον περιορισμό της μελλοντικής ρύπανσης (π.χ. με τον καθαρισμό των υγρών καυσίμων από τις προσμίξεις θείου).

Όσο ευρύς και αν είναι ο κατάλογος των βιοτεχνολογικών προσδοκιών γίνεται αμέσως φανερό ότι στις περισσότερες από επιστημονικές περιοχές της στις οποίες αναμένεται ανάπτυξη και εξέλιξη δεν απαιτείται ηθελημένη αποδέσμευση γενετικά επεξεργασμένων οργανισμών στο περιβάλλον (η οποία τουλάχιστον να μην συνοδεύεται από κάποιο τρόπο ελέγχου). Οι οικονομικές δραστηριότητες που σαφώς προϋποθέτουν την εσκεμμένη (ηθελημένη) απελευθέρωση γενετικά επεξεργασμένων οργανισμών στο περιβάλλον είναι κυρίως οι διάφοροι κλάδοι της γεωργίας σε μικρότερο βαθμό η τεχνολογία επεξεργασίας των λυμάτων συνδυασμένη με τη διάσωση-παραλαβή σπάντων υλών από τα λύματα.

Η σημαντικότερη επίπτωση αυτής της κατεύθυνσης είναι το ότι -κατά πάσαν πιθανότητα- στο άμεσο μέλλον η ηθελημένη αποδέσμευση στο περιβάλλον γενετικά επεξεργασμένων οργανισμών θα συνοδεύει οικονομικές δραστηριότητες που έχουν να επιδείξουν χαμηλού επιπέδου προστιθέμενη «αξία» στο τελικό προϊόν και χαμηλά ποσοστά χρήσεων κεφαλαίου σε αντίθεση με άλλες βιομηχανικές χρήσεις που χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα προστιθέμενης αξίας στο τελικό προϊόν και εντατική χρησιμοποίηση κεφαλαίου.

Οι παρατηρήσεις αυτές μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για την αρχική ομάδα θεμελιωδών κανόνων απαραίτητων για

7. M. Alexander: «Presentation to subcommittees on science, research and technology and on investigation and oversight» στο «Environmental implications of genetic engineering» Hearing of the committee on science and technology U.S. House of Representatives, (June 22, 1983), U.S. Government Printing Office.

τον καθορισμό μιας λογικής διαδικασίας εκτίμησης των πιθανών επιπτώσεων της ηθελημένης (εσκεμμένης) απελευθέρωσης γενετικά επεξεργασμένων οργανισμών στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

Η διαδικασία εκτίμησης θα πρέπει να είναι:

- α) «Λογική» δηλ. να μην απορρίπτει εξ υπαρχής τυχόν προτάσεις εσκεμμένης (ηθελημένης) αποδέσμευσης μικροοργανισμών υιοθετώντας υπερβολικούς και τελείως ατεκμηρίωτους φόβους.
- β) «Βραδεία» δηλ. να παρέχει αρκετό χρόνο για τη μελέτη πιθανών ανεπιθύμητων ενεργειών (οι οποίες πιθανολογούνται, δεν είναι όμως τελείως τεκμηριωμένο ότι θα συμβούν).
- γ) «Εξαιρετικά επιλεκτική» δηλ. να απαιτεί κάθε ηθελημένη αποδέσμευση γενετικά επεξεργασμένου μικροοργανισμού να γίνεται στα πλαίσια ενός καθορισμένου οικοσυστήματος, κατά προτίμηση απομονωμένου σε μεγάλο βαθμό, το οποίο μάλιστα θα πρέπει να μελετάται εξαντλητικά πριν την αποδέσμευση του μικροοργανισμού. Η προεργασία αυτή δεν θα συμβάλλει μόνο στην ευφυή χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου οικοσυστήματος ως προς ότι αφορά τη συγκεκριμένη αποδέσμευση αλλά με την πάροδο του χρόνου θα εφοδιάζει με ένα εντυπωσιακό σύνολο δεδομένων βάσης που αφορούν την επίλυση ενός προβλήματος. Το γεγονός αυτό θα καταστήσει ευκολότερη την εκτίμηση προβλημάτων και συνεπειών των μελλοντικών αποδεσμεύσεων.

- δ) «Εξαιρετικά» εύκαμπτη» δηλ. να προνοεί για τη συνεχή προσαρμογή των κανόνων υπολογισμού προς τις υπάρχουσες ενδείξεις καθώς αυτές θα αθροίζονται.

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι όπως υπογραμμίζεται στις υποδείξεις της ομάδας εργασίας για την κοινότητα διάσταση της Βιοτεχνολογίας του προγράμματος FAST: (*Forecasting Assessment in Science & Technology*).

- α) Καμμία πολιτική στον τομέα αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως απόλυτα ασφαλής.
- β) Η μέχρι σήμερα εμπειρία είναι περιορισμένη.
- γ) Ακόμα και μέσα στα όρια των ειδικών γνωστικών τους πεδίων οι γνώμες των ειδημόνων είναι αμφιλεγόμενες αν ληφθούν υπόψη τα ελλιπή δεδομένα στα οποία βασίζονται.
- δ) Είναι απόλυτα απαραίτητη η ύπαρξη ενός συνεχούς μηχανισμού ανασκόπησης των μακροχρόνιων αποτελεσμάτων που επιφέρει η αποδέσμευση μικροοργανισμών γενετικά επεξεργασμένων, και μάλιστα σε παγκόσμιο επίπεδο.
- ε) Είναι τέλος απαραίτητη μια διαδικασία συνεχούς επιμόρφωσης των ατόμων που συμμετέχουν σε οποιοδήποτε επίπεδο λήψης αποφάσεων.

8. «Η Βιοτεχνολογία στην Κοινότητα» (Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Συμβούλιο), Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων COM (83) 672 τελικό Παράρτημα, Βρυξέλες, 21 Οκτωβρίου 1983.