

REVISTA POLÍTICA I DE PENSAMENT

L'OPINIÓ

S O C I A L I S T A

DOSSIER: REPTES DE LA MODERNITZACIÓ TECNOLÒGICA

Jorge Wagensberg: *Tecnologia: El que és veritable, el que és bo i el que és just.*

Pere Puigdomènech: *Impacte social i ètic de les aplicacions de la genètica molecular.*

David Pérez Maynar: *Aspectes ètics i jurídics de la inseminació artificial.*

Pietro Ingrao: *La qüestió democràtica a l'era de la innovació tecnològica.*

Enric Trillas: *Apunts per a una política d'I+D.*

Teresa Riera: *Sobre els processos d'I+D.*

Josep M.<sup>a</sup> Vegara: *Transformacions tecnològiques i societat: reflexions polítiques.*

Joan Majó: *La revolució tecnològica: una reflexió sobre el seu abast.*

ENTREVISTA: Eugeni Trias per Enric Bastardes.

Xavier Muñoz: *Catalanisme i integració social.*

Ignacio Sotelo: *El socialisme democràtic: una introducció històrica.*

José Luis Martín: *Reflexió al voltant dels orígens del socialisme a Espanya.*

Felip Lorda: *Espanya mai no ha estat feta.*

C/ Nicaragua, 75-77  
 Tel.: 321 01 00  
 08029 Barcelona

**Comitè de redacció**

Lluís Armet (Director)  
 Antoni Castells (Sub-director)  
 Mercedes Aroz  
 Higiní Clotas  
 Jordi Font

Mario López Palancar  
 Joaquim Llach  
 Isidre Molas

Josep Maria Sala  
 Jaume Sobrequés

**Col·laboradors**

Francesc Baiges  
 Enric Bastardes

**Secretariat de redacció**

Julia Goytisolo  
 Francesc González  
 Ton Orobitg

**Producció**

Jordi Serra

**Consell Editorial**

Xavier Arbós  
 Joan Barril  
 Oriol Bohigas  
 Josep Maria Bricall  
 Josep Maria Castellet  
 Fernando Claudín  
 Justo Domínguez  
 Jorge González Aznar  
 José Antonio González Casanova  
 José Agustín Goytisolo  
 Jordi Maragall  
 José Luis Martín  
 Ferran Mascarell  
 Marta Mata  
 Joaquim Monells  
 David Pérez Maynar  
 Lluís Maria de Puig  
 Xavier Rubert de Ventós  
 Ignacio Sotelo  
 Josep Lluís Sureda  
 José María Vegara  
 Josep Verde Aldea  
 José María Zufiaur

**Disseny gràfic**

Loni Geest i Tone Hoverstad

**Subscripció anual**

(4 números): 2.000,— ptes.

## Índex

**DOSSIER: REPTES DE LA MODERNITZACIÓ TECNOLÒGICA**

Tecnologia: El que és veritable, el que es bo i el que és just. *Jorge Wagensberg* ..... 5

Impacte social i ètic de les aplicacions de la genètica molecular. *Pere Puigdomènech* ..... 7

Aspectes ètics i jurídics de la inseminació artificial. *David Pérez Maynar* ..... 19

La qüestió democràtica a l'era de la innovació tecnològica. *Pietro Ingrao* ..... 31

Apunts per a una política d'I+D. *Enric Trillas* ..... 41

Sobre els processos d'I+D. *Teresa Riera* ..... 48

Transformacions tecnològiques i societat: reflexions polítiques. *Josep Ma. Vegara* ..... 52

La revolució tecnològica: una reflexió sobre el seu abast. *Joan Majó* ..... 58

Entrevista a Eugeni Trias: Les reflexions de tres dècades. *Enric Bastardes* ..... 73

**COL·LABORACIONS:**

Catalanisme i integració social. *Xavier Muñoz* ..... 89

El socialisme democràtic: una introducció històrica. *Ignacio Sotelo* ..... 101

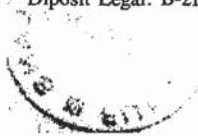
Reflexió al voltant dels orígens del socialisme a Espanya. *José Luis Martín* ..... 120

Espanya mai no ha estat feta. *Felip Llorens* ....

D.S. 4/4



Edita: Partit dels Socialistes de Catalunya  
Fotocomposició: Pre-text, S.A.  
Via Laietana, 19 - 08003 Barcelona  
Impressió: Tipografia Empòrium, S.A.  
Père IV, 6-10 - 08005 Barcelona  
Dipòsit Legal: B-2118/86



Dossier  
Reptes de la  
modernització tecnològica

# Tecnologia: El que és veritable, el que és bo i el que és just

Jorge Wagensberg

La dita civilització occidental es basa en la creença que l'home té la facultat d'influir sobre el seu futur. I aquesta hipòtesi de treball pot haver estat moltes coses, però en cap cas ha estat estèril. La ciència hi té les seves bases; la tecnologia que ha produït la ciència proposa a l'home, cada dia, un nou canvi... Ja no recordem el dia en què vam conquerir la cultura, que és la capacitat per elaborar coneixement acumulable i transferible; és a dir que ja no recordem el dia que vam esdevenir homes. El coneixement científic, aquesta cultura falsejable, objectiva i dialèctica, va néixer abans-d'ahir, quan ja feia molt de temps que existien les biblioteques. Els seus pioners ens són tan propers que podem reconèixer l'exacta expressió de les seves cares; són vells coneguts de molts de nosaltres. Somiaven que la ciència arribaria a canviar el món. Els inicis de la tecnologia, aquesta forma d'elegir i aplicar la ciència, ja els hem viscut en diferit. Dels seus primers entusiasmes coneixem, a més a més del seu aspecte, el seu gest, potser, fins i tot, la seva veu. Alguns d'entre nosaltres presumeixen d'ésser els seus familiars i de tenir el mateix cognom. Aquests pioners tenien referències d'un nou món per als seus fills. L'acceleració no ha deixat d'accelerar-se i avui les, diguem-ne noves tecnologies, afecten els homes en la mateixa època que les posen en marxa. Els efectes són per avui, les preocupacions per demà, sobre el demà passat gairebé no té sentit parlar-ne.

En aquesta era en què cada dia és més curt i dens que el precedent, s'ha produït un fet que ens obliga a una reflexió urgent i profunda. Es tracta d'una col·lisió de ritmes: entre el ritme trepidant i desimbolt de l'elaboració i aplicació de les lleis de la naturalesa i el ritme lent, ancestral i mandrós de les lleis jurídiques, de la moral i de la convivència dels homes. La facilitat amb què una investigació en supera una altra, s'enfronta a la dificultat amb què es troba una creença per substituir-ne a una altra. La lleugeresa del que s'ha descobert topa amb la càrrega del que s'ha revelat. La flexibilitat de les observacions s'avança a la tenacitat dels costums. La lògica del que és veritable i del que és fals és més ràpida que la lògica del que és bo o dolent. El món

dels objectes ha sofert una forta empenta i amenaça de perdre's de vista des del món dels subjectes. L'enfrontament ha esdevingut definitivament crític per una raó ben clara i específica. Perquè, quines àrees són més afectades per les noves tecnologies? Per un costat tenim el domini dels *nous materials*, és a dir, la possibilitat d'inventar materials amb propietats ad hoc per a utilitzacions ben precises i sofisticades (combustibles inofensius, metalls elàstics, plàstics durs, porcellanes impensables...) Però les noves tecnologies afecten sobretot la capacitat de manipular la matèria viva (enginyeria genètica,...) i la informació (microelectrònica, robòtica, intel·ligència artificial, informàtica,...) Dit en poques paraules i d'una altra manera: la tecnologia que l'home ha posat a punt afecta la pròpia estructura física i psíquica de l'home. Insistim: les lleis dels objectes s'allunyen de les lleis dels subjectes justament en el moment en què els subjectes entren al món dels objectes. Així doncs, sembla poc viable que els regnes provisionals del que és veritable i del que és fals al món dels objectes, siguin independents dels regnats del que és just i injust o bé del que és bo i dolent al món dels subjectes. Els valors associats a la consciència i a la tradició humana han d'ésser sencillament molt menys *eterns*. Aquesta és una qüestió molt difícil que, d'una manera o d'altra, és present al conjunt dels següents treballs. De tota manera hi ha un detall que sembla força clar. Si hi ha alguna cosa del mètode científic que valgui la pena exportar a altres formes del coneixement, és l'exercici dialèctic continuat entre models i observacions. Les lleis que involucren el que és bo o bé el que és just han d'enfrontar-se sens defalliment a les conseqüències que produeixen a la realitat. I crec que es pot aventurar que existeix un model de societat on aquest fet és més possible que en d'altres. Es tracta d'una societat fanàtica; fanàtica per la tolerància i la democràcia, és clar.

Jorge Wagensberg  
Professor de Física de la Universitat de Barcelona

# Impacte social i ètic de les aplicacions de la genètica molecular

Pere Puigdomènech

La ciència de l'inici d'aquest segle va estar decididament marcada per la física. En menys de vint anys, entre les dues grans guerres, els paradigmes sobre l'estructura de la matèria van ser profundament revolucionats. Les concepcions científiques i filosòfiques sobre el món material no podien ser les mateixes des d'aquell moment. El món quotidià de la majoria dels homes tampoc no va ser el mateix d'encà d'aquella època. Pensem en algunes de les conseqüències pràctiques d'aquells avenços teòrics: l'electrònica, el làser o especialment, l'energia atòmica. I recordem que un dels teòrics més grans de la física de tots els temps, Albert Einstein, va ser qui va proposar a Roosevelt la conveniència del desenvolupament de la bomba atòmica als Estats Units.

El profund i rapidíssim desenvolupament de la física i les seves aplicacions durant la primera meitat d'aquest segle va obrir, tant entre els científics com entre l'opinió pública general, un bon nombre d'interrogants sobre els efectes del desenvolupament científic, i sobre la responsabilitat de l'investigador. Cinquanta anys després, la ciència es troba en una nova frontera. Si l'inici d'aquest segle ve marcat per la física, la fi del segle és sens dubte l'època de la biologia, i dintre de la biologia hi destaquen les aproximacions moleculars de la genètica. L'aplicació d'un conjunt variadíssim de metodologies microbiològiques, químiques, físiques, matemàtiques fins i tot, està fent que sigui possible estudiar el funcionament dels organismes biològics fins al seu nivell més íntim, el nivell molecular. Però com en tot avenç científic les conseqüències que se'n deriven no donen lloc només a un augment del coneixement sinó també a noves aplicacions. I avui ens trobem que podem modificar el funcionament dels organismes biològics actuant sobre allò més íntim que els identifica i els defineix, el seu missatge genètic. L'impacte econòmic i social d'aquestes tecnologies serà sens dubte important, les conseqüències sobre la nostra concepció del món, sobre el nostre codi ètic seran probablement comparables, sinó superiors, a les que va provocar la física a començament del segle.

No hi ha dubte que un dels paradigmes científics més importants a què ha arribat la ciència del nostre segle ha estat la definició del gen, la unitat d'informació hereditària dels éssers biològics i la descoberta que aquests gens tenen una base química, el DNA. En aquesta llarguíssima molècula s'hi troba escrita en forma de seqüència linial la informació que defineix cada individu i que li ha estat tramesa pels seus pares. Avui comencem a conèixer com s'expressa aquesta informació i com determina les funcions pròpies dels organismes biològics. Aquest coneixement ha estat una gran descoberta d'aquest segle, però actualment podem fer més, podem modificar, gairebé a voluntat, la informació genètica perquè sabem aïllar trossos de DNA, modificar-los i introduir-los de nou en els éssers vius, manipulant-ne per tant la informació genètica. Aquest conjunt de tècniques ha vingut a anomenar-se «enginyeria genètica».

#### LA CLONACIÓ EN BACTERIS

La majoria dels experiments que es porten a terme en el camp d'allò que en general s'anomena enginyeria genètica passen en un moment o un altre per una etapa de clonació en bacteris. La raó d'aquest fet procedeix, d'una banda, de la simplicitat de les tècniques que permeten de modificar la informació genètica d'un bacteri i, per altra banda, de la gran rapidesa de la reproducció d'aquests microorganismes. L'actual tecnologia ha simplificat en gran manera la metodologia de la clonació (experiments d'aquest tipus es duen a terme fins i tot a Catalunya!). En aquests experiments el que es fa és inocular un cultiu bacterià convenientment preparat amb DNA sigui quin sigui el seu origen, animal, vegetal, bacterià, víric, o sintètic, que ha estat unit a una molècula de DNA (anomenat vector) que li permet la seva supervivència i reproducció en l'interior del bacteri. En el cultiu bacterià alguns individus incorporaran una molècula del DNA inoculat. Cal, simplement, seleccionar colònies bacterianes procedents d'aquests individus transformats la qual cosa es fa aprofitant alguna propietat que la presència del vector confereix als bacteris com pot ser la resistència a un antibiòtic. Aquestes colònies procedeixen d'un únic bacteri i estan compostes per tant per individus idèntics entre si: es tracta de clons. D'altra banda l'enorme velocitat amb què es reproduïxen els bacteris (una duplicació cada vint minuts és una xifra normal) fa que puguem obtenir tanta quantitat com vulguem del DNA que els introduïm. En conseqüència, la clonació en bacteris ens permet d'amplificar gairebé a voluntat un fragment de DNA qualsevol, per exemple aquell que conté un gen humà o aquell que codifica per la síntesi d'una substància d'interès econòmic.

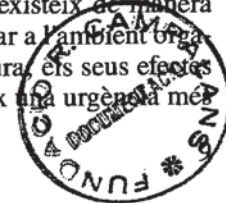
La clonació en bacteris va obrir interrogants importants quan va ser posada a punt a mitjan de la dècada dels anys 70. En una famosa conferència a Asilomar (Califòrnia) es va fins i tot proposar una moratòria en els experiments de clonació en bacteris fins que no fossin coneguts els possibles



efectes laterals. D'aquestes discussions, en van sortir una sèrie de normes de seguretat que s'apliquen a molts països. L'experiència posterior ha demostrat que aquest tipus d'experiments no presenten en general cap perill especialment perquè els bacteris que es fan servir en el laboratori per a aquest tipus d'experiments estan molt modificats i s'ha demostrat que no tenen cap possibilitat de sobreviure en el medi ambient. Actualment en molts casos les mesures de seguretat s'han relaxat força o bé s'han suprimit. Aquest no és el cas, evidentment, quan es tracta d'organismes patògens.

Una de les coses que es poden fer a través de la tècnica de clonació en bacteris, conjuntament amb les tècniques clàssiques de la microbiologia, és l'obtenció de varietats millorades de bacteris que portin a terme una funció d'interès. Per exemple, es pot intentar d'obtenir varietats que permetin una millor degradació de la contaminació ambiental o que permetin la solubilització de minerals o la fixació del nitrogen en simbiosi amb espècies vegetals que fins ara no ho fan. Aquests són programes que es duen a terme en diferents laboratoris i que poden tenir importants efectes econòmics. De fet, per manipulacions de microorganismes es poden substituir gran quantitat de reaccions que actualment es porten a terme mitjançant procediments químics. Els més optimistes dels que treballen en aquest camp afirmen que donada una reacció química qualsevol es podrà en tots els casos aconseguir un microorganisme que la dugui a terme més eficientment que mitjançant operacions químiques. Aquesta és una de les raons per les quals grans empreses químiques han obert els seus laboratoris de recerca a investigadors de biologia molecular.

En aplicacions per l'agricultura, ja hi ha alguns d'aquests procediments que estan en etapes de desenvolupament en el camp i que han donat lloc a importants polèmiques. El cas més conegut és el que ha tingut lloc recentment a Califòrnia. El projecte partia del coneixement que els efectes de les gelades sobre certes fruites procedeixen de la formació de cristalls de gel en la seva superfície. Sembla que aquests cristalls es formen més fàcilment si hi ha present una proteïna produïda per un bacteri (*Pseudomonas savastanoi*). La idea era simple, es tractava d'aconseguir bacteris que no sintetitzessin aquesta proteïna fent la suposició que permetrien una millor resistència de la fruita a les gelades. La demanda per fer experiments de camp amb *Pseudomonas* modificades va aixecar una gran polèmica als Estats Units. Aquesta polèmica es va amplificar encara més quan es va saber que la companyia que havia desenvolupat el bacteri modificat havia fet experiments a l'aire lliure, al terrat dels seus laboratoris abans d'obtenir el permís. Probablement aquest cas és merament anecdòtic perquè el bacteri no és patògen i perquè la varietat de bacteris sense la proteïna que intervé en les gelades ja existeix de manera natural. Però, la pregunta persisteix: ¿és permisible llençar a l'ambient organismes modificats sense haver-ne provat, de manera segura, els seus efectes ecològics? No hi ha dubte que aquesta pregunta adquireix una urgència més



gran quan es tracta d'organismes patògens els quals és possible que estiguin sent manipulats de cara a guerres biològiques. I, d'altra banda, és evident que no hi ha mai mesures de seguretat infal·libles al 100%.

Un segon tipus d'aplicació important és la producció de substàncies d'interès comercial per part dels cultius bacterians. Efectivament, en l'actualitat podem no tan sols amplificar un gen extern que hàgim introduït en un bacteri per estudiar-ne l'estructura i el funcionament, sinó que podem fer-lo expressar pel mateix bacteri. Podem fer que el bacteri dirigeixi bona part de la seva maquinària biològica per produir una substància que ens interessa, per exemple proteïnes, ja sigui una vacuna, insulina, interferon, l'hormona del creixement, etc. També es pot modificar el metabolisme dels bacteris per augmentar la producció d'una substància que produeixen en el seu metabolisme o perquè en facin alguna de nova. Aquesta és la primera conseqüència comercial de l'enginyeria genètica i està possibilitant un nou tipus de medicina gràcies a fer disponibles substàncies o bé desconegudes o que eren molt difícils d'obtenir pels mètodes tradicionals. Aquesta tecnologia ha aparegut en un moment en què el desenvolupament de nous fàrmacs per la via de la química orgànica havia esdevingut un camí gairebé esgotat. No és d'estranyar, per tant, que les grans multinacionals farmacèutiques hagin apostat per l'enginyeria genètica veient-hi la via per a l'obtenció de nous productes.

#### LES SONDES DE DNA. DIAGNÒSTIC I IDENTIFICACIÓ GENÈTICA

Una tercera aplicació important de la clonació en bacteris és la producció de sondes de DNA. Aquest concepte parteix del fet que un cop un DNA clonat i amplificat és possible fer-lo servir per detectar la presència de seqüències idèntiques en una mostra qualsevol. Això fa que la clonació de virus, que no són altra cosa que molècules de DNA o de RNA envoltades de proteïna, sigui d'un gran interès per al diagnòstic de les malalties que els tenen com a origen. El desenvolupament de sistemes de diagnòstic de virus i bacteris mitjançant sondes de DNA és objecte d'una investigació molt intensa i la seva utilització de rutina és pròxima.

Una aplicació diferent a la del diagnòstic per les sondes de DNA pot tenir un important impacte social. Si aquestes poden servir per detectar l'existència de seqüències de DNA en una mostra poden, mitjançant una metodologia relativament senzilla, detectar-ne variacions. Això vol dir que és possible detectar en una població humana individus que tinguin seqüències de DNA diferents dels del conjunt de la població, el que s'anomena polimorfismes. Un cas important és el d'aquells polimorfismes que corresponen a malalties congènites. Això implica que a partir d'una mostra molt petita de teixit humà es puguin detectar qualsevol tipus de defectes congènits. És previsible que en el futur aquesta tecnologia pugui ser aplicada en el fetus, en els casos de

famílies amb elevat risc d'una certa malaltia hereditària i, eventualment, prevenir el naixement d'individus amb algun d'aquests greus problemes. Actualment ja es pot fer aquesta detecció en casos ben documentats i estudiats.

Més discutible, i potencialment perillosa, és una altra aplicació del principi d'identificació de polimorfismes. És possible buscar correlacions a l'atzar entre certs tipus de polimorfismes i la propensió a adquirir una certa malaltia o, per què no?, un cert comportament social. L'anàlisi genètica a nivell del DNA té en principi no més límit que el nombre de seqüències de DNA clonables (milers de milions). El seu ús en la prevenció de malalties pot ser extremadament útil. El seu ús, per exemple, a la hora de la contractació de personal com ja s'està fent a nivell d'anàlisi cromosòmica, sobretot quan les correlacions es basen en dades poc fiables, planteja greus problemes ètics. En particular cal preguntar-se: qui ha de tenir accés a aquesta informació que «retrata» el més íntim d'un individu, el seu missatge genètic? Seria possible plantejar-se una «millora genètica» de l'espècie seguint aquestes dades? Com es determina el que és una anomalia congènita d'allò que és simplement una diferència respecte del conjunt de la població? Aquestes són algunes preguntes que les noves tecnologies plantegen. En trobarem d'altres.

Finalment les sondes de DNA poden tenir una important aplicació jurídica. Existeixen sondes de DNA humana que corresponen a zones dels cromosomes humans on es dona una gran variabilitat de seqüència, això vol dir que no hi ha dos individus que tinguin seqüències de DNA iguals en aquestes zones. Per tant, és possible determinar de forma pràcticament segura si una mostra, on hi ha DNA —sang, esperma o teixit muscular— pertany a un individu o no. És també possible determinar parentius sense error possible comparant els patrons que donen les sondes dels individus de què es tracta. A títol de curiositat, al costat d'aquestes aplicacions jurídiques n'hi ha que afecten fins i tot l'arqueologia ja que ha estat demostrat que es pot clonar DNA a partir de pell momificada, i això vol dir que podrem saber el parentiu d'un home que va viure fa milers d'anys o si tenia alguna malformació congènita. Els camps d'aplicació de la genètica molecular semblen, com es pot veure, no tenir límit.

#### TRANSFORMACIÓ DE CÈL·LULES. ELS ONCOGENS. TERÀPIA GÈNICA

Si la clonació i modificació de bacteris és la tecnologia més desenvolupada, això no vol dir que no sigui possible introduir informació genètica externa en cèl·lules d'altres organismes. Així, avui, és possible de fer en cèl·lules de llevats, de fongs, de plantes, d'animals i, evidentment, també en les procedents d'humans. El cas més senzill és el de cèl·lules en cultiu, és a dir preparades a partir d'algun teixit i mantingudes en cultiu «in vitro». En aquest cas les tècniques són relativament semblants a les de transformació de cèl·lules bacterianes.

L'interès de la transformació de cèl·lules d'organismes superiors són diverses. D'una banda van ser desenvolupades per poder estudiar com funcionaven els gens aïllats en l'interior d'una cèl·lula de l'espècie corresponent. Cal dir que des d'un punt de vista funcional una cèl·lula bacteriana és molt diferent d'una cèl·lula d'animal o de planta i per tant és important estudiar el funcionament dels gens d'organismes superiors en cèl·lules que procedeixen d'aquests. D'altra banda hi ha un fet important, les cèl·lules bacterianes no poden fer moltes de les funcions de les cèl·lules d'organismes superiors. Per aquesta raó, gens procedents d'organismes superiors que es fan expressar en bacteris poden donar lloc a substàncies que no són actives perquè no han estat processades apropiadament per la cèl·lula. Això fa que vacunes o substàncies amb activitat farmacològica no puguin ser produïdes en molts casos per bacteris i hagin de ser sintetitzades per cèl·lules de llevats, d'animals o de plantes. En el domini de la tecnologia d'aquest tipus de cultius pot estar la clau de molts progressos industrials de la futura biotecnologia. Si ja hi ha fermentadors on es cultiven grans quantitats de cèl·lules de llevat per a la producció d'algun producte, també es treballa en la construcció de fermentadors per al cultiu de cèl·lules vegetals o animals que produeixen substàncies de diferents tipus, ja siguin proteïnes d'interès industrial o productes secundaris com aromes, colorants, o qui sap si cautxú o petroli. És fàcil de comprendre l'impacte que en algunes zones del món pot tenir el desenvolupament de cultius que permetin l'obtenció competitiva en un fermentador del safrà o la vainillina per dir dos exemples de productes en què es basa l'economia de regions senceres. L'impacte econòmic en aquests casos pot ser semblant al que es va produir en el Brasil quan la planta del cautxú va deixar de ser exclusiva d'aquelles terres.

Si anem al camp de les cèl·lules animals un dels avenços més espectaculars que han permès les tècniques de transformació d'aquestes cèl·lules ha estat el descobriment dels oncogens. Es tracta de seqüències de DNA que quan s'introdueixen en cèl·lules animals els confereixen les característiques de cèl·lules tumorals. L'anàlisi d'aquestes seqüències ha permès de demostrar que es tracta de gens normals que en general intervenen en la proliferació cel·lular i que en els tumors han sofert alguna modificació, que pot ser una mutació o que ha canviat la seva localització en els cromosomes dels pacients. És molt possible que la clonació d'aquests oncogens, que està ja feta en molts casos, pugui permetre un diagnòstic precoç de certs tipus de tumors. Per ara està, sens dubte, permetent la comprensió de com les cèl·lules normals esdevenen tumorals. I aquestes noves dades estan obrint unes perspectives totalment noves en el coneixement dels processos que donen lloc a tumors i qui sap si no n'afavoreixi el guariment.

Si la tecnologia de transformació cel·lular permet introduir gens en cèl·lules humanes, ¿podrà fer-se servir algun dia per guarir malalties, en particular malalties congènites? Res no sembla més fàcil, a priori, que substituir un

gen defectuós per un que funcioni adequadament i que hagi estat prèviament clonat. El problema és que per ara és impossible de substituir els gens defectuosos en totes les cèl·lules d'un teixit determinat en un adult. No hi ha manera de «refer» un pulmó a partir d'un cultiu de cèl·lules pulmonars. Però en alguns casos és possible que comenci a ser factible una tal operació, en particular per cèl·lules que sí poden extreure's i tornar-se a introduir en el cos. Els casos més evidents són els de les cèl·lules del moll de l'ós i de la pell. En el primer d'aquests casos els experiments ja van per bon camí. El tractament és aplicable quan es tracta de pacients la malalta dels quals és a causa d'un gen que s'expressa en les cèl·lules del moll de l'ós i que conté algun defecte. La tecnologia del trasplantament de medul·la es fa servir ja en molts hospitals i consisteix a extirpar les cèl·lules d'aquest teixit d'un pacient, tractar les cèl·lules fora del cos, destruir totes les que queden en el pacient i reintroduir-li les cèl·lules tractades. Si pensem en l'aplicació de l'enginyeria genètica, el tractament pot consistir a transformar les cèl·lules amb el gen de funcionament normal que estigui prèviament clonat, i corregir-ne així el defecte congènit. La tecnologia no ha reeixit, però, del tot, ja que cal assegurar que siguin les cèl·lules on el gen s'expressa les que es transformen i també que ho facin amb un 100% d'eficiència perquè sinó podria ser que les cèl·lules no transformades s'imposin a les altres després d'un cert temps; però per solucionar aquests problemes s'està treballant molt activament...

Existeixen actualment tècniques de transformació de cèl·lules humanes amb gran eficiència que fan servir virus modificats que procedeixen de virus patògens. És evident que la tecnologia no està encara ben dominada però sembla que ja podem disposar dels principals elements per fer «teràpia gènica». La pregunta actual és, doncs, quan cal començar a fer experiments en individus tenint en compte que per alguns d'ells aquesta pot ser l'única via per sobreviure? És possible que els primers permisos per aquest tipus de tractament no tardin en els Estats Units. Un cas polèmic en els Estats Units es va donar quan un metge americà va decidir d'anar a Israel per assajar aquesta tècnica en pacients humans després que se li negués el permís en el seu país. L'experiment va fracassar i el metge va ser penalitzat. Cal dir també que aquestes tecnologies, en fer-se banals, poden produir que es facin reviure les discussions sobre normes de seguretat per al treball en el laboratori a causa de l'ús de virus d'origen patògen en els experiments de transformació, virus que no són encara ben coneguts.

#### LA TRANSFORMACIÓ D'INDIVIDUS SENCERS

És clar que no és el mateix introduir un gen en un grup reduït de cèl·lules en cultiu que modificar el missatge genètic d'un individu de tal forma que

aquest el transmeti modificat a la seva descendència. Això, també és possible de fer-ho en l'actualitat en insectes, en mamífers i en plantes. La tecnologia és més delicada en el cas dels animals perquè és necessària la microinjecció del DNA en el nucli de l'embrió o de l'òvul fecundat d'un animal. Les plantes són un cas diferent i en parlarem separatament.

La microinjecció consisteix a introduir una molt petita quantitat de DNA que conté un gen determinat en el nucli d'un òvul fecundat que ha estat agafat d'una femella, fecundat i immobilitzat. Posteriorment aquest òvul, en el cas dels mamífers, és implantat en l'úter d'una femella igual com es fa en els casos de fecundació *in vitro*. S'ha demostrat que per aquesta tècnica és possible d'introduir en el nucli d'un òvul fecundat un DNA prèviament clonat que s'integra en els cromosomes de l'animal, hi funciona normalment i es transmet a la descendència segons les lleis clàssiques de Mendel. Mitjançant aquesta metodologia es pot estudiar en l'animal sencer el funcionament de gens que han estat modificats. Dos exemples de l'ús d'aquesta tecnologia han donat la volta al món. En un d'ells es va introduir el gen normal en una mosca mutant que havia perdut el color dels ulls, i es va poder demostrar que la mosca recuperava el seu color normal. En l'altre, es va introduir en un ratolí el gen de l'hormona humana del creixement de forma que donés lloc a un nivell d'hormona superior al normal, d'aquesta manera hom va aconseguir ratolins de la grandària d'una rata. Aquests experiments per a la consecució del que s'anomena animals transgènics estan permetent de fer una gran quantitat d'investigacions de gran interès per conèixer el funcionament, i el malfuncionament, dels gens. No hi ha dubte que aviat podran ser aplicats per aconseguir una millora genètica en els animals, d'interès per a la ramaderia.

Fins ara han estat publicats resultats de microinjecció en diverses espècies d'animals superiors com el conill, el be o el porc. Les preguntes que se'ns acuden de forma immediata són òbvies. D'una banda, les possibilitats en animals d'interès industrial són ilimitades, des de controlar el seu creixement o alguna de les seves produccions a fer-los produir alguna substància determinada. Es parla, per exemple, de fer de la llet de vaca una font dels més diversos productes que podrien incloure la vacuna per alguna malaltia. D'altra banda ens podem preguntar: Es poden fer aquests tipus d'experiments en l'home? S'han de fer aquests experiments en l'home? La resposta que per ara els científics estan donant a aquestes dues preguntes són: segurament *sí* que es poden fer aquests experiments en l'home, però per ara *no* s'han de fer aquests experiments en l'home. No hi ha dubte que si un experiment s'ha dut a terme en diverses espècies de mamífers només cal elaborar suficientment la tecnologia com perquè sigui aplicable a l'home. Les tècniques de fecundació *in vitro* es fan gairebé de rutina en molts hospitals del món i si bé l'òvul humà és més petit que el d'altres espècies de mamífers tot és qüestió de treball per trobar les condicions adequades per a la microinjecció. Ara

bé, aquests experiments es fan a l'atzar, microinjectant gran nombre d'òvuls que s'implanten en femelles, només un nombre petit és efectivament transformat i d'aquest només un petit percentatge expressa el gen injectat adequadament. Això pot no tenir massa importància en els animals domèstics però la té, i molt gran, en els humans. Ara com ara, es ja difícil de predir l'aparició d'efectes secundaris, és a dir de malformacions genètiques per la creació de mutacions a causa del mateix experiment. En aquestes condicions, per ara, sembla molt arriscat dur a terme els experiments fins a donar lloc al naixement d'individus microinjectats i aquests experiments estan prohibits en aquells països que tenen possibilitats de dur-los a terme. En qualsevol cas es pot predir que la introducció de gens externs en humans és o serà factible a curt termini i que caldrà regular-ne l'aplicació, sobretot quan, per ara, es veu més adequada la prevenció prenatal de malformacions congènites que no pas córrer l'elevat risc d'aquest tipus d'experiments.

Un aspecte que ha estat molt discutit en les revistes i reunions científiques és si es poden fer experiments de microinjecció en embrions humans però sense implantar-los en dones i per tant sense donar lloc a individus. En l'actualitat, i com a conseqüència de les tècniques de fecundació in vitro, es produeix un nombre superior d'embrions que el que s'implanta en la mare, la resta són congelats o llençats. Si un embrió no s'implanta en una dona es pot fer viure uns dies en el laboratori. És lícit experimentar amb aquests embrions que igualment serien llençats i que no donaran mai lloc a adults? La resposta a aquesta pregunta dona lloc a parers diversos.

Cal tenir en compte en qualsevol cas que la humanitat fa molt de temps que fa «enginyeria genètica». Només cal observar la varietat de races de gossos, porcs o vaques, producte de l'acció constant, des de fa milers d'anys, de la mà de l'home. En canvi mai ningú no ha dut a terme un programa de millora genètica en l'home que a priori és tan factible com els que es fan en els bovins o porquins. No hi ha dubte que les noves tecnologies permeten de fer aquest tipus d'experiments amb més rapidesa i de forma més dirigida, però cal que els mecanismes d'autocontrol que han actuat fins ara continuïn actuant i el que fins ara guiava el sentit comú sigui guiat pel mateix i per adequades reglamentacions que d'altra banda ja es discuteixen o bé s'apliquen en la majoria dels països. Perquè això sigui possible és molt important que no es posin traves de cap tipus a l'accés lliure a la informació d'aquells avenços científics i tècnics que es duen a terme. Com veurem després la tendència en aquest sentit és més aviat restrictiva.

Un altre tipus d'experiments que ha colpit la imaginació de novel·listes i del públic és la possibilitat d'obtenir individus idèntics genèticament entre si o a un adult, el que s'ha anomenat individus clònics. Per ara, aquest tipus de possibilitat és del domini de la ciència ficció. Els experiments que havien estat publicats en aquest sentit en mamífers han estat posats en qüestió i a més feien servir nuclis d'altres embrions i no d'animals adults. En aquest

camp cal encara demostrar la factibilitat dels experiments, una cosa que potser es donarà en el futur o potser no es donarà mai.

## LA TRANSFORMACIÓ DE PLANTES

Ben lluny de les qüestions anteriorment formulades semblen les que es plantegen quan parlem de plantes. Cal tenir en compte, a més, que la tecnologia de transformació de plantes és molt més senzilla que la d'animals. Això és degut a dues raons principals. Una és que per moltes espècies vegetals és possible regenerar plantes senceres a partir de cèl·lules en cultiu fet totalment impossible en animals. La segona és que s'han desenvolupat tècniques de transformació de vegetals diferents de la microinjecció que permeten la introducció de gens prèviament clonats en vegetals amb gran eficiència.

La regeneració de plantes a partir de cultius vegetals *in vitro* és avui dia una tècnica emprada en moltes espècies vegetals per obtenir plantes de característiques ben definides. Això es fa d'una manera rutinària en molts països en plantes ornamentals i s'està desenvolupant en altres espècies tot esperant que la seva aplicació tingui efectes econòmics importants per arbres fruiters o d'interès forestal. Igualment es fan cultius en suspensió de cèl·lules vegetals els quals poden donar lloc, com ja hem dit abans, a fonts de substàncies que avui s'extrauen de les plantes, com aromes, additius per a l'alimentació, productes farmacèutics, etc. Per alguns, els cultius del futur seran aquests reactors de cèl·lules vegetals les quals poden haver estat transformades amb gens de qualsevol origen.

La transformació de vegetals es pot fer amb gran eficiència i relativa facilitat mitjançant diferents tècniques. Els projectes actuals —deixant de banda els més nombrosos que tenen per objecte conèixer el funcionament dels gens en les plantes— es dirigeixen a intentar millorar certes característiques de plantes d'interès econòmic. Per exemple es tracta d'introduir en les plantes gens que els confereixin resistència a l'atac per part de virus o paràsits, resistència a herbicides o a condicions atmosfèriques adverses o que millorin l'aprofitament energètic, millorin la qualitat de les seves proteïnes o permetin l'aprofitament del nitrogen atmosfèric.

Els experiments en plantes no plantegen per ara problemes ètics semblants als de l'experimentació humana. En plantegen d'altres, principalment socials i econòmics. El desenvolupament de noves varietats de vegetals amb avantatges importants pot tenir d'una banda efectes importants sobre l'augment de la productivitat agrícola o pot permetre d'obtenir matèries primeres fins al moment de la importació en aquelles zones que es poden permetre les despeses d'aquest desenvolupament. Aquestes zones, fonamentalment els països desenvolupats de la zona temperada, ja són a l'actualitat productors agrícoles



i produeixen grans excedents. Els nous desenvolupaments poden acabar amb algunes importacions dels països del Tercer Món que encara mantenen produccions agrícoles exclusives. D'altra banda, el comerç de les llavors passarà a estar encara més dominat per les multinacionals que podran disposar de les noves tecnologies. Cal remarcar el procés de concentració del mercat mundial de llavors a les mans d'unes poques empreses o la compra d'algunes d'aquestes per grans empreses químiques o petrolieres. S'ha dit que per a elles l'agricultura serà el petroli del segle XXI. Des d'aquesta perspectiva són comprensibles els esforços dels països del Tercer Món per preservar l'ús internacional dels desenvolupaments en biotecnologia agrícola, però igualment ho són els esforços de les companyies i centres de recerca que desenvolupen les noves varietats per protegir-les i rentabilitzar-ne les inversions. Probablement si les noves tecnologies poden fournir unes varietats vegetals de gran interès econòmic també és probable que incrementin la dependència dels agricultors respecte als productors de llavors, els quals són en general multinacionals. No hi ha dubte que per a aquells països en els quals l'agricultura és una part primordial de l'economia és important no deixar passar les oportunitats per dominar aquestes tecnologies.

#### UNA CIÈNCIA EN TRANSFORMACIÓ

La genètica molecular, la biologia en general, estan sofrint una transformació profunda. Això és veritat no solament quant als conceptes científics per si mateixos sinó també en la relació que el biòleg té respecte al seu propi treball i a la societat. Els avenços, rapidíssims, de la biologia molecular, les perspectives enormes de les seves aplicacions, la incidència d'aquestes aplicacions en molts aspectes, fins i tot, de la vida quotidiana de les persones estan transformant la ciència, els científics i la relació d'aquests amb la ciència i la societat. La biologia havia estat, a diferència per exemple de la química o la geologia, apartada en general d'aplicacions concretes. Era la ciència per la ciència en la seva expressió més completa. Això ja no és veritat. Tant els inversors, en els països que en tenen, com els estats estan pressionant els investigadors en biologia perquè dirigeixin les seves recerques cap a objectius aplicats. Els científics segueixen aquest estímul encara més per tal com ja hi ha els primers biòlegs moleculars multimilionaris (en dòlars) com a conseqüència de la fundació i explotació d'empreses dedicades a l'enginyeria genètica.

Síntomes d'aquests canvis són el creixement espectacular de les inversions en el camp de la genètica molecular arreu del món o la constitució de grans instituts de recerca dedicats a aquestes especialitats. Causa i efecte alhora, d'aquest fet, n'és el progressiu encariment de la recerca en aquest camp tant en els materials que s'utilitzen com en la progressiva sofisticació de la intrumentació disponible que fins fa ben poc era mínima i en general barata.



Sens dubte que la importància científica i industrial d'aquest camp farà que sigui cada cop més difícil dur a terme una recerca competitiva en biologia molecular en aquells països en què no s'hi dediquin inversions importants. Per fer una comparació necessària, mentre que a Alemanya es construïen en menys de cinc anys més de cinc grans instituts de recerca en biologia molecular, alguns d'ells finançats conjuntament amb diners públics i privats, a Espanya es parlava d'un únic centre de biotecnologia la construcció del qual s'ha anat retardant durant anys. I si parlem de Catalunya, no existeix ni un sol centre de recerca de genètica molecular o biotecnologia amb instal·lacions comparables a les dels centres europeus. Els grups de recerca que treballen en aquests camps a casa nostra són molt escassos i petits, estan dispersos i en general infrafinançats.

La irrupció d'importants aplicacions en el camp de la biologia fa necessari, doncs, que les inversions augmentin. En part, a causa d'aquest fet es donen importants repercussions en l'actitud dels investigadors envers el seu propi treball. Fins fa poc la publicació era l'únic objectiu de les recerques i calia assolir-la amb la màxima rapidesa. Actualment pensant en patents i en contractes d'exclusivitat molts resultats es retenen retardant-ne la publicitat. Això fa que les relacions entre els diferents grups de recerca o, de vegades, en l'interior mateix dels grups de recerca la tendència a compartir la informació s'estronqui. Una conseqüència lateral d'aquest fet pot ser la dificultat d'un control públic de les recerques que es fan a causa del seu caràcter confidencial imposat per les aplicacions industrials de les descobertes.

La humanitat ha controlat fàcilment fins ara les aplicacions dels seus coneixements biològics. Les noves tecnologies obren un camp immens d'aplicacions que poden permetre una vida més plena als homes, allunyant perills de malalties de molts tipus, i que poden donar lloc a una societat que pot estar en millor equilibri amb la naturalesa de la qual forma part. Però cal no menysprear les conseqüències ecològiques, socials i individuals d'aquests avenços que cal seguir a curta distància, sense histèries però amb rigor, pel conjunt de la societat i pels qui tenen com a missió vetllar pel funcionament de la societat en el seu conjunt.

Pere Puigdomènech i Rosell  
*Investigador Científic del CSIC*