

# REFLEXIONS SOBRE LA BIOLOGIA MOLECULAR

Lluís Cornudella i Mir  
Consell Superior d'Investigacions Científiques

**SUMMARY:** *An evolutive link is established between Matter and the Cell, basic unit of the living state. The cell is capable to replicate and perpetuate itself through its genetic material. These functions are performed through a set of chemical mechanisms which define the processing of gene information and regulate gene expression, among them transcription and protein synthesis. The knowledge of the structural organization of the genetic material supports the capacity for gene manipulation, opening up unthinkable perspectives.*

D'antuvi vull manifestar el meu agraïment a aquesta Reial Acadèmia de Medicina que m'ha donat l'acollida i que em permet usufructuar aquesta plataforma durant uns instants, que procuraré seguir realment breus. En segon lloc, també vull agrair les paraules de benvinguda del presentador, al qual a més m'uneix un vincle de tipus mendelià, circumstància que s'escau en aquests moments en que celebrem el centenari de Darwin. Moltes gràcies.

Haig de fer palés que al plantejar-se'm fer aquesta presentació se'm creà un problema. I és que hi havien dues alternatives. La primera era buscar un tema puntual tot i l'inconvenient de l'excessiva especificitat. La segona, triar un tema molt general amb el perill de necessitar tres o quatre sessions per a desenvolupar-lo. Vaig pensar que potser millor decantar-se per un tema d'índole general però limitant-lo als esdeveniments més sobresortints en la seva cronologia. Per tal d'evitar la fugida de contexte i deixar una història mig acabada, el més adient és una curta introducció que ens situï i ens permeti la definició d'unes categories, d'uns ordres de magnitud, d'on poder estirar el fil de la nostra història.

## 1. Consideracions Evolutives sobre la Matèria i l'Estat Viu

Per a començar establim una primera premisa: l'element fonamental de l'estat fi-

sic és la Matèria. Donarem una llambregada a aquesta Matèria —que en definitiva som nosaltres mateixos— i analitzarem les qüestions: d'on venim?; què o qui som?; on anem?. Nosaltres veiem la matèria, és tangible. Observem que es transforma i canvia. Que s'organitza. L'aprofundir en l'estudi del seu comportament exigeix de fer-ho amb una perspectiva evolutiva. Un punt de partença ens el forneix l'esclat de l'univers i la transformació còsmica. Aquest esdeveniment defineix un primer nivell o categoria atòmica en els que es constitueixen els elements químics. A continuació accedim a un segon nivell d'organització on es constitueix la matèria inorgànica. Aquesta matèria inorgànica està integrada per molècules que donen lloc a substàncies més complexes, que inclús passen a adquirir caràcter orgànic i a constituir-se en polímers. Aquestes transformacions estableixen un nou nivell evolutiu que podríem anomenar d'evolució química. Finalment, si ens fixem en nosaltres mateixos tenim el que és l'estat viu. Aquesta transformació s'ha de qualificar com una categoria o canvi biològic. Bé doncs, d'aquesta anàlisi molt simple i a grans trets podem deduir una relació entre els tres nivells. Un procés evolutiu inicialment de tipus còsmic, seguit d'una evolució merament atòmica que deriva cap als canvis químics més complexes i finalment es decanta per una evolució de tipus biològic.

Arribats a aquest punt ens trobem amb una dificultat conseqüència de la frontera

entre l'estat inert i l'estat viu. És senzill imaginar substàncies elementals barrejant-se i constituint molècules una mica més complicades, però d'aquí al fet que aquestes molècules es tornin vives hi ha un tros. Potser el desllorigador el trobarem al posar ésser en les característiques que defineixen l'estat viu. És obvi que la categoria diferencial de tota matèria viva és la seva capacitat per a dividir-se. Les substàncies inorgàniques són inerts i no es divideixen mentre que les orgàniques sí ho fan. Es podria pensar en formes de divisió senzilles que impliquessin fragmentacions o be descomposicions però la realitat ens demostra que no és així. Hi ha un requeriment essencial que s'ha de satisfer. Aquesta exigència és la de mantenir unes característiques definides; transmetre-les, propagar-les i perpetuar-les. Es fa palés que una divisió de tipus físic no ateny aquesta condició. És necessària una forma de divisió equiparable a una autèntica reproducció. Per tant l'essència de l'ésser viu és la capacitat, d'altra banda exclusiva, d'autoduplicar-se; de fer una rèplica de si mateix conservant els trets originals. Inherents a aquesta capacitat de replicar-se hi ha dues funcions a les que l'ésser viu a d'abastar, són: el creixement i el desenvolupament. Els organismes vius a més de reproduir-se, creixen i es desenvolupen. Avui sabem que aquestes funcions s'assoleixen mitjançant un conjunt de reaccions químiques que integren el metabolisme general dels organismes. Altra vegada podríem suposar que aquest conjunt de reaccions fos regulat per mitjà de normes físiques senzilles. Podríem també considerar l'alternativa d'una acumulació d'informació durant milions d'anys, al llarg del procés evolutiu, susceptible d'ésser transmesa de generació en generació tot donant lloc a unes condicions idònies i singulars per l'aparició en el món del primer organisme viu. És paradoxal el fet que els processos més senzills, com podent ésser l'agrupació d'àtoms per donar lloc a molècules, són els que han consumit més temps al llarg de l'evolució, mentre que l'enorme complexitat de l'estat viu ha esdevingut assolida en un temps insignificant comparat amb l'invertit en la formació del cosmos.

En síntesi, la seqüència evolutiva s'inicia

amb la Matèria y la constitució de les supernoves, dels estels, galàxies i sistemes celestes, omplint l'etapa atòmica de l'evolució. La fase següent és la de l'evolució química que comprèn la formació dels elements químics seguida de la seva integració en molècules inorgàniques, orgàniques i polímers. Finalment la matèria orgànica, i ja en l'etapa biològica, lentament evoluciona cap a una primitiva manifestació de vida per a acabar constituint la unitat fonamental de l'estat viu que és la cèl·lula, peça essencial de tots els organismes vius. Si mai ningú fés una història de la formació de l'Univers, l'evolució biològica no seria esmentada o apareixeria en lletra petita. Nogensmenys, al final del desenvolupament evolutiu hi trobem l'essència de l'ésser viu: la cèl·lula. Endinsem-nos ara en aquest microcosmos.

## 2. La Cèl·lula com a essència dels Éssers Vius: El Material Genètic

Començem fent una succinta ressenya dels esdeveniments més sobresortints en el desenvolupament de la Biologia moderna. Situats en el segle XVII, l'any 1650 s'assolí a visualitzar els microorganismes per observació directa al microscopi. La concepció i disseny d'aquest instrument la devem al belga Anton van Leeuwenhoek, el qual fou el primer a observar els bacteris i altres microorganismes. 200 anys més tard els científics alemanys Matthias Schleiden i Theodor Schwann proposaren la Teoria Cel·lular, que diu que tot organisme viu, sigui animal o planta, està compost per cèl·lules, les quals constitueixen la unitat bàsica de la vida. A la darrera del segle passat tenim tres noms de cabdal importància. Gregor Mendel que assenta les bases de la Genètica; Louis Pasteur que amb la seva experimentació assolí refutar la hipòtesi de la generació espontània, vigent des dels temps d'Aristòtil; Charles Darwin, el centenari del qual commemorem enguany, que proposà la teoria evolutiva de la Selecció Natural.

Ja en el nostre segle i a l'entorn de 1940, un experimentador nordamericà, Oswald Avery, descobrí la capacitat transformadora d'un material, la naturalesa química del qual era ja coneguda. Aquesta substància

era un àcid nucleic, el desoxirribonucleic, abreujat DNA. Afegint-lo de manera exògena a un cultiu de bacils de la pneumònia modificava els trets genètics del bacteri. Aquest resultat formà la prova rigorosa de la identitat del material genètic. Els gens de les cèl·lules estan constituïts per DNA.

Quasi simultàniament a la identificació del DNA s'aconseguí d'esbrinar la seva estructura en forma d'hèlix doble, estabilitzada per enllaços químics per ponts d'hidrogen entre les bases nitrogenades que es troben en les cadenes polimèriques. En aquesta insòlita forma estructural resideix l'habilitat del DNA de duplicar-se fidelment. Imaginem per un moment una trena de dues badies entrecruades sinuosament. Si li donem un moviment de torsió a la trena en sentit contrari a l'entrelligament, veurem com les dues badies tendeixen a separar-se deixant un espai buit entremig. La formació d'aquesta obertura permet que els enzims responsables de la replicació, les polimerases, s'hi adossin i puguin anar sintetitzant les cadenes filles del polímer original.

A més del DNA hi ha un segon àcid nucleic, el ribonucleic o RNA. Ambdós estan compostos de tres substàncies químiques: bases nitrogenades, dues púriques i dues pirimidíniques; un ió fosfat responsable d'enllaçar els nucleòtids contigus per mitjà de grups fosfodièsters i finalment un hidrat de carboni que potser sea desoxirribosa en el DNA, o bé una ribosa en el RNA.

Bé doncs, són tres els elements constituents dels àcids nucleics. Hem esmentat que l'estabilització de la doble cadena s'aconsegueix establint ponts d'hidrogen entre les bases nitrogenades. Aquesta circumstància determina que les bases es trobin col·locades en l'interior de l'estructura. Ultra aquest requeriment n'hi ha un altre. Degut a la seva configuració, la capacitat d'interaccionar electrostàticament és restringida. Les bases púriques entre si o bé les pirimidíniques no poden enllaçar. Tampoc és possible entre els dos grups de bases en qualsevol combinació. La interacció és molt específica, sols poden establir interacció els parells: adenina-timina i guanina-citosina. Aquesta especificitat d'aparellament semblaria una futilesa de no ésser que defineix un codi ba-

sat en una estricta conjugació. Així doncs tot el procés de duplicació esdevé molt senzill i alhora d'una fidelitat extrema. Tot el que ha de fer l'enzim polimerasa és identificar cada base nitrogenada amb la que va coincidint durant el seu recorregut per la cadena de DNA que deu de copiar, i afegir a la cadena neixent la corresponent base conjugada.

Tot plegat doncs, el procés de la duplicació és un mecanisme semi-conservatiu ja que cada doble cadena filla conté una badia de la trena que es replica i una sola polimeritzada de nou. Un aspecte no comentat encara és que l'especificitat d'interacció electrostàtica entre les bases nitrogenades condiciona que les dues cadenes de la molècula de DNA siguin antiparal·leles, és a dir, estiguin capgirades entre si.

### 3. El Dogma Central: la transcripció i la traducció

Arrivats a aquest punt ja sabem que és el material genètic; quina és la seva naturalesa; com es replica. Nogensmenys però ens trobem amb una dificultat. Les cèl·lules dels organismes superiors estan organitzades en compartiments. Esdevé que el material genètic està localitzat en el nucli cel·lular però la seva expressió —la síntesi de proteïnes— es duu a terme en el citoplasma. Tenim doncs el material genètic situat en un punt concret de la cèl·lula i la seva funció realitzada en un altre lloc de la mateixa cèl·lula. Això implica l'existència d'un element que actui d'intermediari per a traslladar la informació codificada en el material genètic al lloc de la seva traducció. Aquesta circumstància donà lloc a la proposició coneguda com el «dogma central de la Biologia Molecular» on es diu que el material genètic és el DNA i que la seva informació es reflecteix en les proteïnes per mitjà d'un segon àcid nucleic: el RNA missatger.

La noció d'un missatge la funció del qual fos el transport de la informació en l'interior de la cèl·lula fou intuïda, entorn dels anys seixanta, pels francesos Jacob i Monod. Analitzant les dades experimentals a l'abast en aquell moment, deduiren la necessitat

de l'existència d'un element que fes com de recader i que portés la informació d'un lloc a l'altre. Simultàniament s'assolí a desxifrar el codi que empra la cèl·lula en la transferència de la informació. El codi està inscrit en les bases nitrogenades del DNA aprofitant la selectivitat establerta per la conjugació entre elles. La seqüència del DNA es transcriu en la seqüència complementària del RNA intermediari. Subseqüentment cadascun dels triplets formats per bases nitrogenades consecutives en el missatger són reconeguts selectivament pels aminoàcids i així es predetermina l'especificitat de composició en les proteïnes. El codi doncs és bimodal. En primer lloc el RNA missatger és transcrit fent ús de la complementarietat entre les bases nitrogenades sobre el motlle del DNA. A continuació la seqüència inscrita en el RNA estableix l'ordre d'inserció dels aminoàcids en les proteïnes per mitjà de la traducció de les bases en triplets a aminoàcids específics.

#### 4. El dispositiu de la síntesi de proteïnes

La síntesi de proteïnes té lloc en un dispositiu especial del que disposa la cèl·lula en el seu citoplasma. Aquesta maquinària es coneix pel nom de ribosoma i està compost per proteïnes i per una classe de RNA anomenada ribosomal. Un element important en el dispositiu de síntesi és una altra espècie de RNA coneguda com RNA de transferència, la funció del qual consisteix en subministrar al ribosoma els aminoàcids en l'ordre establert per la seqüència del missatger.

Els elements del dispositiu de síntesi són doncs el ribosoma, el RNA missatger i les molècules de RNA de transferència carregades amb el seu corresponent aminoàcid. El primer d'aquests elements està constituït per dues subunitats que difereixen lleugerament en el tamany. El funcionament de conjunt de la maquinària és el següent. D'antuvi el RNA missatger s'engalza en el ribosoma. El primer triplet de bases nitrogenades del missatge és reconegut, per mitjà de la complementarietat entre bases, per una sola molècula de RNA de transferència portadora d'un aminoàcid específic. Un cop es-

tablert contacte entre el RNA missatger i el de transferència amb el seu aminoàcid, aquest darrer s'engalza al ribosoma deixant-se anar de la molècula de transferència que el portava. A continuació la mateixa operació és realitzada per un segon RNA de transferència que reconeix per l'ídentic mecanisme de conjugació, la seqüència del segon triplet de bases nitrogenades del missatge. En el moment de coincidir dues molècules de transferència en el ribosoma carretejant dos aminoàcids, aquests darrers queden engalzats en el ribosoma mentre que la primera molècula de transferència es desenganxa del ribosoma restant alliberada. Per mitjà de successives repeticions de l'operació descrita es va formant la cadena polipeptídica. En el moment de la completió de la nova proteïna els elements integrants del dispositiu de síntesi es desprenen del ribosoma deturant-se així tot el procés sintètic.

#### 5. Mecanismes de processament de la informació

Convé ara sintetitzar tot el que hem dit. El material genètic està constituït per unitats d'informació, anomenades gens, codificant cadascuna d'elles per a una proteïna. El conjunt de gens d'una cèl·lula constitueix el seu genoma. Hem vist que el gen, i per extensió el genoma, té la capacitat exclusiva d'auto-replicarse i ahora es transcriu en un àcid nucleic intermediari que és el RNA missatger. Aquest darrer un cop transcrit surt del nucli per a engalzar-se en el dispositiu de síntesi de proteïnes en el citoplasma.

El pas del nucli al citoplasma no és una operació senzilla sino que consisteix en una sèrie de processos que integren un complex mecanisme de transport. Esdevé que simultàniament amb el procés de transcripció les molècules de RNA recent transcrites s'associen amb proteïnes. S'ha proposat que aquesta associació no es produeix a l'atzar sino per mitjà d'unes partícules ribonucleoproteïques anomenades informosomes. Sembla que la missió de les proteïnes és la de protegir el RNA i també aportar els enzims necessaris per a modificar el transcrit primari i donar lloc a la molècula final de

missatge. El conjunt de modificacions soferides pel transcrit primari constitueix el mecanisme de processament. Les modificacions més notables són, primer l'addició d'una llarga cadena de nucleòtids d'adenina, entorn dels 200, a l'extrem (3') o cua del transcrit. L'altre terminal, el (5'), de la molècula és també modificat estructuralment. És molt probable que la finalitat d'aquestes modificacions sigui la de conferir resistència als extrems de la molècula enfront de l'atac d'enzims nucleolítics. Un aspecte molt important del processament ve donat pel fet que la informació continguda en el gen no és contínua sino que està interrompuda per trams de DNA no codificadors o sense-sentit. Aquests trams esdevenen copiats també per les RNA polimerases i per tant apareixen en els transcrits primaris. Aquesta circumstància implica que al llarg del processament de la informació aquests segments siguin eliminats, donat que no són detectables en el missatge final.

L'antuvi les transformacions descrites semblen gratuïtes però si hi parem esment capirem la diversitat de possibilitats regulatòries que forneixen, així com de control de la funció informacional.

En resum, alhora que la informació és impel·lida fora del nucli és sotmesa al procés d'elaboració descrit fins a atènyer la membrana plasmàtica on, acabades ja totes les operacions transformadores, és extrusionada fora del nucli per a engalzar-se en el dispositiu de síntesi de les proteïnes.

## 6. Organització estructural del material genètic

Encetem ara un nou aspecte que d'antuvi pot semblar irrelevant però posseeix una importància cabdal. Es tracta de com el material genètic s'organitza estructuralment en l'interior del nucli. Una senzilla consideració ens farà capir la seva importància fonamental. Es calcula que la molècula de material genètic contingut en una cèl·lula d'un organisme superior, si fos desenrotllada i estirada, assoliria la longitud d'un metre, o sigui, 1000 mm o bé  $10^6$  micres. Si posem esment en el fet que el diàmetre d'una cèl·lula potser entorn de les 10

micres, s'ens plantejarà l'enigma de com una cadena de  $10^6$  micres pot atapeir-se dins d'una esfera de 10 micres de diàmetre. Això vol dir que ens enfrontem amb un factor de compressió d'una magnitud igual a  $10^5$ . Aquest grau d'empaquetament és difícilíssim d'assolir però en la realitat és així. Si a més considerem que el nombre de gens en un organisme superior, com per exemple l'home, assoleix la xifra de  $10^5$ , es farà palesa la dimensió del problema estructural.

El fet és que l'observació del material genètic al microscopi electrònic revela unes fibres esfilagarsades contenint unes boletes com de rosari. ¿Quina és la interpretació d'aquest fet? Bé, es presuposa que el material genètic es cabdella al voltant d'un bolic de proteïnes, visualitzant-se com boletes al microscopi electrònic, la successió de les quals resulta a la manera d'un enfilall. Aquesta interpretació teòrica es confirma experimentalment sotmetent la cromatina a l'acció d'enzims nucleolítics. Segons la intensitat de l'acció enzimàtica s'aconsegueix d'anar retallant, primer un nombre crescut d'agrupacions d'unitats esfèriques, després un de més reduït fins atènyer, a mesura que incrementa l'acció degradativa, la partícula esfèrica elemental. La identificació del tamany de les agrupacions de partícules es resolt per mitjà de tècniques electroforètiques, resultant més desplaçades sota la influència del camp elèctric les més petites. La comparació migratòria amb marcadors de tamany conegut dona la resposta buscada.

Bé doncs, en un primer nivell d'organització estructural tenim l'hèlix doble del DNA. A continuació la cadena s'enrotlla en glòbuls proteics constituint una successió semblant a una filera de pilotes de tennis. Considerem per un moment que en cada agrupació globular hi ha DNA equivalent a 160 parelles de bases nitrogenades i que el seu diàmetre és aproximadament de 5 nm. Si desemboliquem el DNA corresponent a aquest nombre de parells de bases i l'esfilagar-se'm ens vindrà a mesurar entorn els 20 nm. Per tant l'enrotllament aconseguix una compactació de l'ordre de 4 vegades superior. Falta molt encara per a assolir la magnitud de  $10^5$  que hem esmentat abans. Aquestes agrupacions globulars po-

den però entortolligar-se i retorçar-se sobre si mateixes formant manyocs que s'assemblen a cilindres. D'aquesta manera la compactació va incrementant-se i es pot calcular l'atènyer un factor de compressió 50 vegades superior a la longitud de la cadena estirada de DNA d'una de les unitats globulars. Nogensmenys la compactació real del material genètic contingut en un sol cromosoma respecte de la longitud de l'àcid nucleic desentortolligat és de l'ordre de 5000. Estem doncs encara molt lluny d'esbrinar el procediment emprat pel material genètic per tal d'assolir el grau real de compactació, avui encara dellà de l'abast del nostre coneixement.

## 7. Els fonaments de la manipulació genètica

Encetem ara el darrer tema. Hi ha una classe de microorganismes, els bacteris, que no tenen reproducció sexual. S'auto-reproduïen ells sols. Podem dir que constitueixen uns autèntics «clons», o sigui, en teoria rèpliques perfectes de si mateixos. Això en principi és un inconvenient doncs limita la seva capacitat de variació genètica. La naturalesa però, per tal de compensar aquesta limitació, els ha donat la facultat d'establir un cert tipus de contacte físic conegut pel nom de conjugació. Mitjançant aquest mecanisme es pot produir la transferència mútua de petits bocins de material genètic. Aquests darrers però no són troços del seu genoma ja que això implicaria el seu trossejament. El fet és que els bacteris disposen d'una petita proporció de material genètic no associat al genoma. Són bocins autònoms tot i que es repliquen alhora que ho fa el genoma. Aquestes petites unitats genètiques s'anomenen plàsmids i posseeixen la informació normalment codificada en un gen. En el moment de la conjugació són aquests plàsmids els que són intercanviats.

A més dels plàsmids, els bacteris exhibeixen una segona particularitat. Donada la seva relativa simplicitat que no els permet de disposar de complexos dispositius de defensa com els que posseeixen els organismes superiors, compensen aquesta mancança amb un conjunt d'enzims hidrolítics d'una especificitat insospitada. No actuen

com la resta d'enzims nucleolítics que reconeixen les molècules dels àcids nucleics. La seva especificitat és a nivell de la seqüència inserida en les molècules, o sigui, reconeixen les bases nitrogenades de les cadenes i tallen aquestes en punts determinats per parelles específiques de bases contigües. Aquests enzims s'anomenen de restricció i fins avui s'han aïllat una trentena, coneixent-se exactament el seu mecanisme d'acció.

Proveïts d'aquests enzims podem avui fer la dissecció de genomes i si es coneix la seva seqüència podem, emprant els enzims de restricció adients, seleccionar els bocins que ens interressi aïllar. D'aquesta manera podem seleccionar un segment que es correspongui amb una unitat gènica. Un cop aïllat aquest darrer, i fent ús altra vegada d'enzims de restricció, es pot inserir-lo en la cadena d'un plàsmid prèviament isolat i tallat per procediments similars. Finalment tindrem un plàsmid artificial o híbrid que conté un gen adicional totalment aliè a la seva informació natural sense afectar, ni tant sols mínimament, la seva viabilitat. Aquest plàsmid híbrid potser introduït de nou en el bacteri que li és propi i aprofitar l'elevat ritme de reproducció d'aquest darrer per a multiplicar el primer, donada la simultaneïtat d'ambdues replicacions.

La conclusió de totes aquestes manipulacions és que hem adquirit una facultat fora de l'abast de la natura. La capacitat d'entrecreuar gens absolutament aliens entre si. Inclús la de saltar totes les barreres biològiques i fondre gens pertanyents a organismes enormement distants en l'escala evolutiva.

Podem preguntar-nos ¿per a què serveix tot això?. Bé doncs, la multiplicació bacteriana, que és molt més ràpida que per exemple la nostra, permet elaborar productes gènics o sigui proteïnes, en quantitats molt superiors a les que s'obtenen pels mètodes normals d'extracció. A títol il·lustratiu, tenim la hormona del creixement l'obtenció de la qual és molt costosa ja que s'extreu de pituitàries de cadàvers. Donat que el gen que codifica per a aquesta hormona ha estat aïllat i la seva seqüència coneguda, ha estat possible inserir-lo en plàsmids i obtenir-ne quantitats il·limitades a un cost mínim. Hem de tenir en compte que els

bacteris no reclamen cap mena de retribució al multiplicar-se.

En resum, les tècniques de recombinació del DNA o de manipulació genètica ens ofereixen unes perspectives insospitades en aquest moment. El desenvolupament de la terapèutica genètica no és una utopia sino que el tenim a l'abast. Hi ha moltes malalties que són hereditàries i per tant la seva causa resideix en el material genètic. La possibilitat d'identificar el segment de DNA defectuós i procedir a la seva eliminació aplicant la metodologia descrita, de manera que la progènie no arrosegui la malaltia, podem pensar en fer-ho en un temps no massa llunyà. La producció de substàncies que escassegen o són de difícil obtenció, esdevé resolta per mitjà de la manipulació genètica. L'aplicació en el camp de l'agricultura potser ilimitada. Podem pensar en conferir a plantes capacitats de les que estan mancades. Així, la facultat de fixar nitrogen de les lleguminoses potser transferida a les no lleguminoses i estalviar quantitats ingents d'adobs, abaratint dràsticament el cost de collites essencials. Dispossem avui de soques de bacteris que eliminen els residuus d'hidrocarburs produïts pels vessaments accidentals de petroli en el

mar. Aquests bacteris han estat obtinguts per manipulació genètica.

Un aspecte important de l'ús d'aquestes tècniques és que no requereixen grans màquines ni costoses instal·lacions industrials. De fet la manipulació genètica és una tècnica microbiològica convencional en la que tant sols es recorre a elements recentment descoberts com són els enzims de restricció. Endemés el consum energètic és molt minso. Ens trobem doncs enfront d'una metodologia que s'aparta completament del fonament dels processos bàsics de l'elaboració industrial. On les inversions són mínimes. Els rendiments molt més elevats i el cost de la mà d'obra pràcticament nul, doncs qui fa la feina són microorganismes mancats de qualsevol afany reivindicatiu.

## **8. Epileg**

El propòsit essencial d'aquestes reflexions sobre la Biologia Molecular ha estat extreure la seva atenció devers les vicissituds entorn el desenvolupament d'una nova línia del coneixement biològic i l'impacte pregon que les seves aplicacions pot produir en la nostra forma de viure. El desig més fervent fóra haver atès l'objectiu proposat. Res més.