

institut

ELS premis Nobel

d'estudis

PUBLICACIONS  
DE LA  
PRESIDÈNCIA  
13 / 2002

de l'any 2001

*Cicle de conferències*

catalans



**PUBLICACIONS  
DE LA  
PRESIDÈNCIA  
13 / 2002**



# Els premis Nobel

PUBLICACIONS  
DE LA  
PRESIDÈNCIA  
13 / 2002

de l'any 2001  
*Cicle de conferències*

Disseny gràfic: Enric Satué

© dels autors de les conferències  
© 2002, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició  
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: desembre de 2002

Tiratge: 450 exemplars

Text revisat lingüísticament pel Servei de Correcció de l'IEC

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Impressió a Limpergraf, SL

ISBN: 84-7283-655-X

Dipòsit Legal: B. 47910-2002

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o d'Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

## ÍNDIX

Introducció

7

Sobre el Premi Nobel de Medicina concedit a  
Leland H. Hartwell, R. Timothy Hunt i  
Paul M. Nurse,  
a càrrec d'Oriol Bachs

9

Sobre el Premi Nobel de Literatura concedit a  
V. S. Naipaul,  
a càrrec de Kathleen Firth

27

Sobre el Premi Nobel de Química concedit a  
William S. Knowles, Ryoji Noyori i  
K. Barry Sharpless,  
a càrrec de Josep Font Cierco

53

Sobre el Premi Nobel de Física concedit a  
Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle i Carl E. Wieman,  
a càrrec de Ramon Vilaseca Alavedra

83

Sobre el Premi Nobel d'Economia concedit a  
George A. Akerlof, A. Michael Spence i  
Joseph E. Stiglitz,  
a càrrec de Joan Tugores  
113



Les societats modernes mostren el seu desenvolupament per la seva inversió en recerca. El nostre país, que encara arrossega l'herència de períodes passats on la recerca es distingia per la seva absència o pel seu paper purament testimonial, ha fet un gran esforç humà i material per assolir un bon nivell internacional. De fet, la nostra producció científica creix no únicament en nombre sinó també en capacitat d'influència, és a dir, en citacions. Aquest context favorable, fonamentat en un col·lectiu d'investigadors amb una mitjana d'edat força favorable, impulsats per unes institucions amb una bona empenta, té encara importants problemes estructurals. L'esforç de creixement està fet i, tot i que el sistema de recerca encara ha d'expandir-se, queda ara el més difícil: la consolidació. Avui, els nostres centres de recerca són capaços de formar adequadament els investigadors joves, de canalitzar una etapa de la seva formació arreu del món, però, en canvi, el sistema no té capacitat per absorbir-los quan han complert el llarg període formatiu i estan en la fase més productiva de les seves carreres. Cal destacar els programes de la Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), les distincions del Govern de la Generalitat i el Programa Ramon y Cajal, que pretenen actuar en aquest entorn, però encara són incipients i no poden canalitzar totes les persones formades, especialment en les disciplines més bàsiques. D'altra banda, els nostres grups de recerca, en termes generals, són encara massa petits i massa circumstancials, i per tant vulnerables i fràgils. Les infraestructures científiques del nostre país encara necessiten una forta empenta que sobretot hauria d'incidir en el personal de suport.

Destaca l'atenció que la comunitat científica catalana cada any dedica als guardonats amb els premis Nobel i als temes pels quals han estat distingits. En aquest context la Societat Catalana de Biologia, la Societat Catalana de Llengua i Literatura, la Societat Catalana de Química, la Societat

Catalana de Física i la Societat Catalana d'Economia han instaurat, amb la coordinació de la Secretaria Científica de l'Institut, el que ja pràcticament ha esdevingut una petita tradició: la mateixa setmana que té lloc l'acte protocol·lari de lliurament dels Premis a Estocolm, a l'Institut d'Estudis Catalans cinc especialistes expliquen en cinc sessions el context i les aportacions dels guardonats. Posteriorment aquestes conferències es publiquen en un llibret. El que ara teniu a les mans correspon a les sessions que varen tenir lloc el passat mes de desembre i que, com en d'altres ocasions, varen comptar amb la participació de nombroses persones interessades en aquests aspectes de la cultura científica contemporània.

JOSEP ENRIC LLEBOT  
Secretari científic

**ELS PREMIS NOBEL  
DE L'ANY 2001  
SOBRE EL  
PREMI NOBEL DE MEDICINA  
CONCEDIT A  
LELAND H. HARTWELL,  
R. TIMOTHY HUNT  
I PAUL M. NURSE,  
A CÀRREC D'ORIOI BACHS,  
DE LA UNIVERSITAT  
DE BARCELONA**

El Premi Nobel de Fisiologia o Medicina de l'any 2001 ha estat concedit a tres investigadors: dos d'anglesos, Paul Nurse i Timothy Hunt, i un de nord-americà, Leland Hartwell. El premi els ha estat concedit per la seva contribució al descobriment dels mecanismes implicats en el control de la proliferació cel·lular.

La proliferació cel·lular és un procés pel qual una cèl·lula es divideix donant lloc a dues cèl·lules filles genèticament iguals. Per tal de portar a terme aquest cicle de divisió cel·lular, la cèl·lula ha de créixer (assolir el doble de la seva mida), duplicar el seu material genètic (els cromosomes), separar les dues còpies dels cromosomes i finalment partir-se en dos. Aquests fets s'han de portar a terme d'una manera ordenada, i això defineix quatre fases dins del cicle de divisió cel·lular. Aquest comença per una fase denominada  $G_1$ , que essencialment és una fase de creixement, després continua amb la fase S, on es produeix la duplicació cromosòmica. Quan aquesta acaba, comença un període denominat  $G_2$  on la cèl·lula es dedica a comprovar que no hi hagi alteracions (mutacions) en els nous cromosomes i, si en troba, s'activen mecanismes de reparació d'aquestes anomalies. Després del  $G_2$  s'inicia la mitosi (fase M), on se separen els cromosomes duplicats i finalment la cèl·lula es parteix en dos. En general, tot el cicle cel·lular dura aproximadament unes vint-i-quatre hores.

Aquest procés està altament regulat per tal que les cèl·lules es divideixin només quan sigui necessari i evitar que les cèl·lules filles acumulin anomalies genètiques. Aquesta regulació és especialment important en el cas de les cèl·lules dels organismes pluricel·lulars (amfibis, mamífers, etc.), ja que, en aquests organismes, les cèl·lules formen part de teixits i òrgans amb una estructura molt definida i funcions

molt específiques. Si el control del cicle cel·lular no fos molt acurat i les cèl·lules es dividissin en moments o llocs inadequats, l'arquitectura dels òrgans quedaria afectada i la seva funció seria anòmala. Això és el que succeeix en el cas del càncer: les cèl·lules proliferen quan no han de fer-ho, i es generen els tumors que alteren el funcionament dels òrgans.

#### ELS SENYALS EXTERNS QUE REGULEN LA PROLIFERACIÓ CEL·LULAR

Com sap la cèl·lula quan ha de dividir-se? La regulació de la proliferació cel·lular depèn, en primer lloc, de senyals externs que interaccionen amb la membrana plasmàtica de la cèl·lula i generen la resposta proliferativa. Un primer grup de senyals externs que regulen la proliferació cel·lular està format pels anomenats factors de creixement. Aquests factors són proteïnes localitzades a l'entorn extern de la cèl·lula i que poden unir-se a la superfície d'aquestes. La major part dels factors de creixement són reguladors positius, és a dir, activen la proliferació cel·lular. Alguns d'aquests factors de creixement, com, per exemple, el factor de creixement epidèrmic (EGF), actuen activant la proliferació d'un nombre important de tipus cel·lulars diferents. En canvi, altres factors de creixement, com la interleucina 2, són molt específics i solament actuen activant la proliferació d'un únic tipus cel·lular, en aquest cas els limfòcits T.

Per tal que els factors de creixement puguin activar la proliferació de les cèl·lules, aquestes han de tenir, a la seva membrana plasmàtica, proteïnes receptores que reconeguin específicament aquests factors de creixement. Així doncs, els factors de creixement només activaran els tipus cel·lulars que tinguin aquests receptors específics que els reconeguin. Quan els factors de creixement s'associen amb aquests receptors a

la membrana cel·lular, les cèl·lules responen activant els anomenats factors promotors del cicle cel·lular, que s'encarreguen d'engegar i regular la progressió a través de les diferents fases del cicle cel·lular.

Malgrat que la majoria dels factors de creixement són activadors de la proliferació, n'hi ha però una família que, contràriament als altres, són reguladors negatius, és a dir, actuen inhibint la proliferació. El membre més representatiu d'aquesta família és el factor de creixement transformant  $\beta$  (TGF  $\beta$ ), el qual, quan interacciona amb els receptors específics de la membrana cel·lular, indueix una resposta intracel·lular que inactiva els factors promotors del cicle cel·lular.

Un altre senyal extern que regula la proliferació cel·lular és la interacció de les cèl·lules amb la matriu extracel·lular. La matriu extracel·lular és una estructura formada per una xarxa de molècules que serveix de suport a les cèl·lules dins dels teixits i òrgans. Les cèl·lules disposen en la seva membrana plasmàtica de proteïnes que s'associen específicament a diferents components de la matriu extracel·lular. Les cèl·lules només poden proliferar quan estan adherides a la matriu extracel·lular específica del teixit on normalment estan situades. La manca d'unió d'una cèl·lula a la matriu extracel·lular genera una resposta que inactiva els factors promotors del cicle cel·lular i, per tant, en bloqueja la capacitat de proliferació. Aquest és un mecanisme de regulació que impedeix que una cèl·lula després accidentalment del seu lloc original pugui sobreviure i proliferar en altres llocs de l'organisme.

Finalment, un altre senyal extern que modula la proliferació cel·lular és el contacte cèl·lula-cèl·lula. Quan les cèl·lules estan molt separades les unes de les altres poden dividir-se sense cap restricció. Però quan les cèl·lules entren en contacte, es desencadena una resposta que inhibeix l'acti-

vitat dels factors promotors del cicle cel·lular i, per tant, les cèl·lules aturen la proliferació. Aquest mecanisme, anomenat inhibició per contacte, impedeix que les cèl·lules s'amunteguin les unes sobre les altres i, per tant, participa en la definició de l'arquitectura normal dels teixits.

#### ELS SISTEMES DE VIGILÀNCIA DEL CICLE CEL·LULAR (*CHECKPOINTS*)

Les cèl·lules també han desenvolupat mecanismes de vigilància intracel·lular (*checkpoints*) que controlen que els diferents processos del cicle cel·lular tinguin lloc correctament. Aquests sistemes són capaços de detectar les anomalies que es produeixen durant la proliferació i, quan les detecten, inhibeixen l'activitat dels factors promotors del cicle cel·lular i, simultàniament, activen sistemes per reparar les alteracions detectades. Quan el problema s'ha solucionat, el cicle cel·lular pot continuar. En cas que les anomalies no puguin ser reparades, els sistemes de vigilància disparen un programa intracel·lular que condueix a la mort de la cèl·lula. Aquesta mort cel·lular programada s'anomena apoptosi. Els mecanismes de vigilància asseguren, doncs, que la cèl·lula creixi fins a la mida adequada, que no s'acumulin alteracions en el material genètic, que aquest es dupliqui correctament i en el moment adequat i que, finalment, còpies iguals dels cromosomes es distribueixin a cadascuna de les cèl·lules filles.

13

#### ELS FACTORS PROMOTORS DEL CICLE CEL·LULAR

L'essència del treball dels investigadors que han estat guardonats amb el Premi Nobel de Medicina aquest any ha estat,

precisament, la demostració que els factors promotors del cicle cel·lular estan formats per dues famílies de proteïnes, les ciclines i les cinases dependents de ciclines (CDK). Un altre aspecte fonamental descrit per aquests investigadors és que els mecanismes de control de la proliferació cel·lular són universals, és a dir, les ciclines i les CDK regulen la proliferació de les cèl·lules de tots els organismes eucariotes, des dels lleuats fins a l'espècie humana.

Com actuen les ciclines i les CDK per tal de regular el cicle cel·lular? Les ciclines reben aquest nom perquè la seva concentració a les cèl·lules oscil·la durant el procés de proliferació cel·lular. Les CDK són proteïnes que presenten una activitat cinasa, és a dir, actuen incorporant grups fosfat —fosforilen— a altres proteïnes. L'addició de grups fosfat és un mecanisme universal i molt important per a la regulació de la funció de les proteïnes. Quan una proteïna és fosforilada, la seva funció canvia. Per exemple, si estava inactiva pot passar a ésser activa o a l'inrevés. Les CDK són cinases que, per tal de poder realitzar la seva funció, necessiten estar associades a les ciclines. Per tant, les CDK només seran actives quan la cèl·lula tingui nivells alts de ciclines i es puguin formar complexos ciclines-CDK. Així doncs, quan les CDK s'activen per associació amb les ciclines, dins la cèl·lula, es fosforilen un conjunt de proteïnes que assumiran una activitat que induirà la cèl·lula a iniciar i continuar el procés de proliferació.

Les ciclines s'anomenen amb lletres que van des de la A fins a la H, i les diferents CDK s'identifiquen amb nombres de l'1 al 7. Les ciclines i les CDK s'uneixen formant parelles específiques en diferents moments del cicle cel·lular. Així, al principi del cicle cel·lular, durant la fase  $G_1$ , es formen complexos de ciclina D amb CDK4 i CDK6; a finals del  $G_1$  es formen complexos ciclina E-CDK2, que són necessaris per a la iniciació de la duplicació dels cromosomes. Posteriorment es formen els complexos ciclina A-CDK2, necessaris per a la



progressió de la fase S, i, finalment, per tal d'iniciar la mitosi es necessiten els complexos ciclina B-CDK1. Aquesta formació seqüencial de complexos ciclins-CDK és el que permet que la cèl·lula reguli tot el procés de proliferació cel·lular.

#### COM REGULEN ELS SENYALS EXTERNS L'ACTIVITAT DELS COMPLEXOS CICLINES-CDK?

Anteriorment ja hem mencionat que els senyals externs que regulen la proliferació cel·lular activen els factors promotors del cicle cel·lular i ara ja sabem que aquests factors promotors són parelles específiques de ciclins-CDK. Una cèl·lula, quan no prolifera (es diu que està en estat de quiescència), no té ciclins, però sí que té CDK4/6 i CDK2. Per tant, és evident que aquestes CDK no podran ser actives, ja que els manquen les ciclins.

Per tal d'iniciar la proliferació caldrà que una cèl·lula estigui adherida a la matriu extracel·lular, que estigui separada de les altres cèl·lules veïnes i que hi hagi factors de creixement en el seu entorn i puguin unir-se a la seva membrana plasmàtica. En aquestes circumstàncies, la cèl·lula podrà començar a proliferar. L'acció conjunta entre els factors de creixement i la unió a la matriu extracel·lular generarà una resposta dins la cèl·lula que consisteix en l'acumulació de la ciclina D. Llavors, aquesta ciclina podrà unir-se a la CDK4/6. Aquests complexos ciclina D-CDK4/6 que es formen durant la fase G<sub>1</sub> aniran al nucli de la cèl·lula i allà realitzaran la seva funció per tal de fer progressar el cicle cel·lular. Quina és aquesta funció? Hem dit que els complexos ciclins-CDK actuen fosforilant altres proteïnes que, en ser modificades d'aquesta manera, s'activen o inactiven. La funció dels complexos ciclina D-CDK4/6 és fosforilar una proteïna que s'anomena proteïna del retinoblastoma (pRB). Aquesta proteïna rep aquest nom perquè la seva inactivació o pèrdua està

associada a un tipus de tumor de la retina que s'anomena retinoblastoma. Durant la quiescència i al principi de la fase  $G_1$ , la proteïna pRB està unida a factors de transcripció (proteïnes que activen l'expressió dels gens) de la família E2F. Aquesta unió fa que aquests factors de transcripció estiguin inactius, i, per tant, l'expressió de gens importants per a la proliferació cel·lular està aturada. Quan els complexos ciclina D-CDK4/6 fosforilen la proteïna pRB, els factors de transcripció E2F s'activen parcialment i això permet que s'indueixi l'expressió d'alguns gens que codifiquen per proteïnes importants per a la progressió del cicle cel·lular, com, per exemple, la ciclina E. Així doncs, el que essencialment fa l'activació dels complexos ciclina D-CDK4/6 és induir la síntesi de la ciclina E.

La ciclina E que ha aparegut cap a mitja fase  $G_1$  o cap al final s'unirà a l'altra cinasa important per a la regulació del cicle cel·lular, la CDK2, fet que produirà l'activació d'aquesta cinasa. Els complexos ciclina E-CDK2 activats també fosforil·laran la proteïna pRB i això permetrà que el factor de transcripció E2F s'alliberi de pRB. Llavors, E2F induirà l'expressió d'altres gens necessaris per a l'inici de la duplicació dels cromosomes. Com a conseqüència d'aquesta nova onada d'expressió de gens, apareixen proteïnes com la ciclina A, que serà necessària per regular la síntesi del DNA, les DNA polimerases, que són les encarregades de sintetitzar el nou DNA, o la cinasa CDK1, que es necessitarà posteriorment per iniciar la mitosi.

Quan la cèl·lula ha acumulat tota aquesta sèrie de proteïnes, pot començar la fase S o fase de duplicació cromosòmica. Aquesta fase s'inicia també per l'acció dels complexos ciclina E-CDK2 actius. Aquests complexos fosforilen proteïnes situades en els llocs on ha de començar la replicació del DNA i d'aquesta manera desencadenen el seu inici. La duplicació cromosòmica continua amb la col·laboració dels complexos ciclina A-CDK2 que es formen de nou i actuen fosforilant proteïnes implicades en el procés de la síntesi del DNA.

Quan acaba la duplicació dels cromosomes comença la fase G<sub>2</sub>, que és una fase on es revisa l'estat del material genètic. Durant aquesta fase no hi ha cap complex ciclina-CDK que hi tingui un paper important. Quan s'ha acabat de revisar el material genètic i s'ha reparat el dany que hi pugui haver, s'activen els complexos ciclina B-CDK1, que seran responsables d'iniciar la mitosi. Tal com hem dit abans, la CDK1 apareix com a conseqüència de la fosforilació de la proteïna pRB pels complexos ciclina E-CDK2. En canvi, la ciclina B apareix durant la fase S per mecanismes que encara no es coneixen gaire bé.

El primer signe de l'inici de la mitosi és la condensació dels cromosomes. Aquest fet es produeix com a conseqüència de la fosforilació d'algunes proteïnes dels cromosomes, com la histona H1, pels complexos ciclina B-CDK1. Poc temps després es produeix el trencament de la coberta nuclear, també provocat per la fosforilació d'algunes proteïnes de la coberta nuclear, com les anomenades làmines, pels mateixos complexos ciclina B-CDK1. L'activitat ciclina B-CDK1 també és responsable de l'organització del fus mitòtic, format per microtúbuls, que s'encarregarà posteriorment de la separació dels cromosomes al final de la mitosi.

Quan els cromosomes estan preparats per separar-se, aproximadament a mitja fase de la mitosi, en l'anomenada metafase mitòtica, es produeix la degradació de la ciclina B, fet que provoca la inactivació de la cinasa CDK1. Aquest fet és imprescindible per a la separació dels cromosomes i per a la divisió de la cèl·lula en dues cèl·lules filles. La inactivació de la CDK1 permet tornar a descondensar els cromosomes, tornar a reorganitzar la coberta nuclear i tornar a desfer el fus mitòtic. En definitiva, la inactivació d'aquests complexos permet la cèl·lula d'adquirir l'estructura habitual que té quan no prolifera.

Fins ara hem descrit com els factors de creixement en col·laboració amb l'adhesió de les cèl·lules a la matriu extra-

cel·lular indueixen la proliferació cel·lular, però encara queden per respondre algunes preguntes. Per exemple, com poden aturar la proliferació els factors de creixement de la família del TGF  $\beta$ ?, o com s'atura el cicle cel·lular quan una cèl·lula perd el contacte amb la matriu extracel·lular?

Per tal de respondre aquestes preguntes hem d'introduir més elements que participen en la regulació de l'activitat dels complexos ciclins-CDK. Com que l'activitat d'aquests complexos és molt important a l'hora de decidir si la cèl·lula ha de proliferar o no, la cèl·lula disposa de més mecanismes de control d'aquestes activitats. Així doncs, a més de la unió amb les ciclins, hi ha altres mecanismes de regulació. Hi ha cinases (cinasa CAK) que fosforilen les CDK i les activen, però també hi ha cinases (wee 1) que fosforilen altres llocs de les CDK i les inactiven. Quan el complex té simultàniament la fosforilació activadora i les fosforilacions inhibidores, el complex és inactiu. En aquestes condicions, per tal d'activar el complex cal eliminar els fosfats inhibidors. Aquesta desfosforilació (pèrdua de fosfats) la desenvolupa una proteïna fosfatasa anomenada CDC25. Així doncs, la fosforilació de les CDK és un mecanisme important per a la regulació de la seva activitat.

L'activitat de les CDK també està regulada per la unió de proteïnes anomenades CKI (inhibidors de les CDK). Hi ha dues famílies de CKI: la família Cip/Kip, que comprèn la p21, la p27 i la p57, i la família INK4, que comprèn la p15, la p16, la p18 i la p19. Aquestes famílies de proteïnes tenen un mecanisme d'actuació ben diferent. Els membres de la família Cip/Kip tenen un comportament dual. Per una banda, participen en l'activació dels complexos ciclina D-CDK4/6, ja que afavoreixen la unió de la ciclina amb la CDK. Per una altra, són inhibidors potents dels complexos ciclina E-CDK2 i ciclina A-CDK2 i inhibidors moderats dels complexos ciclina B-CDK1. Aquests inhibidors s'uneixen tant

a la ciclina com a la CDK, i el complex continua estable però inactiu. En canvi, els membres de la família INK4 únicament són inhibidors de CDK4 i CDK6. Aquests inhibidors actuen unint-se a la cinasa i, per tant, impeding l'associació de CDK4/6 amb la ciclina D. Si aquests inhibidors interaccionen amb els complexos ciclina D-CDK4/6, els complexos es trenquen i l'inhibidor queda unit a la CDK.

Finalment, un altre mecanisme de regulació de les activitats ciclines-CDK és la localització intracel·lular dels complexos. En general, aquests complexos són nuclears, i és dins el nucli quan són actius, essencialment perquè la cinasa activadora CAK i la fosfatasa CDC25, també activadora de les CDK, tenen una localització únicament nuclear. En general, s'assumeix que, quan els complexos ciclines-CDK són citoplasmàtics, aquests són inactius.

Tots aquests mecanismes de regulació participen en els processos d'activació o inhibició de la proliferació induïts pels senyals externs.

Hem mencionat que hi ha factors de creixement que actuen inhibint la proliferació cel·lular, com, per exemple, el TGF  $\beta$ . Com actuen aquests factors per tal d'inhibir la proliferació? Quan el TGF  $\beta$  interacciona amb receptors específics de la membrana plasmàtica, s'activen dos mecanismes: l'acumulació de la CKI p15, que s'uneix a CDK4/6 i l'inhibeix, i, d'altra banda, la degradació de la fosfatasa CDC25, encarregada de l'activació dels complexos ciclines E/A-CDK2, els quals per aquest motiu deixen d'activar-se.

Hem comentat també que els factors de creixement ajudats per la unió a la matriu extracel·lular indueixen la síntesi de la ciclina D. Però què passa quan una cèl·lula proliferant es desenganxa de la matriu extracel·lular? En aquestes condicions, la cèl·lula indueix mecanismes que inactiven tant el complexos ciclina D-CDK4/6 com els complexos ciclina E/A-CDK2. En el primer cas, el mecanisme desencadenat és

la degradació de la ciclina D i, en el segon cas, s'indueix l'acumulació de l'inhibidor p27, que s'uneix als complexos ciclines E/A-CDK2 i els inhibeix. Aquests mecanismes impedeixen, doncs, que una cèl·lula que s'ha després del seu lloc d'origen pugui proliferar.

En definitiva, per tant, el que fan els senyals externs que regulen la proliferació cel·lular és controlar l'activitat dels diferents complexos ciclines-CDK per diverses vies de senyalització (figura 1).

#### COM REGULEN ELS SISTEMES DE VIGILÀNCIA L'ACTIVITAT DELS COMPLEXOS CICLINES-CDK?

Tal com hem mencionat anteriorment, els sistemes de vigilància del cicle cel·lular controlen que el procés de la proliferació es realitzi correctament. Aquests sistemes s'activen quan detecten alguna anomalia i responen d'una manera ràpida, inhibint els complexos ciclines-CDK per tal de donar temps perquè l'anomalia es repari. Hi ha diferents sistemes de vigilància que actuen durant el cicle cel·lular. Entre aquests destacarem el de dany al DNA i el de la mitosi.

##### *Sistema de vigilància del dany al DNA*

Segons quina sigui la fase del cicle cel·lular en què es produeix el dany al DNA, la resposta del sistema de vigilància és diferent. Si el dany al DNA es produeix durant la fase  $G_1$ , s'activen un grup de cinases (ATM, Chk1, Chk2) que actuen aturant el cicle cel·lular per dues vies diferents, una de resposta ràpida i una de resposta més lenta. En el primer cas, aquestes cinases fosforilen la proteïna CDC25, la qual, per efecte d'aquesta fosforilació, es degrada. Per tant, la resposta immediata és que els

complexos ciclines-CDK ja no poden ser activats, atès que els manca la proteïna activadora CDC25. D'altra banda, aquestes cinases fosforilen una proteïna anomenada p53, que quan està fosforilada és molt estable i, per tant, s'acumula a la cèl·lula. Aquesta proteïna es comporta com un factor de transcripció, és a dir, activa l'expressió d'una sèrie de gens, entre els quals cal destacar el de la proteïna p21. Tal com hem mencionat abans, la p21 és un potent inhibidor dels complexos ciclines E i A-CDK2, que per tant s'inactiven quan hi ha dany al DNA a causa de l'increment de p21. Aquest procés tarda més temps i per això parlem d'una via d'actuació lenta. Aquestes dues vies aturen la progressió de la divisió cel·lular fins que el dany s'ha reparat. Quan això passa, les cinases s'inactiven, la p53 es degrada i això permet que el cicle continuï, ja que els complexos ciclines-CDK poden tornar a ser activats.

Si el dany al DNA succeeix en la fase  $G_2$ , el mecanisme d'aturada del cicle és lleugerament diferent. També en aquest cas s'indueix l'activitat d'unes cinases (Chk1, Chk2) que fosforilen la CDC25. Però en aquest cas la CDC25 fosforilada no es degrada sinó que és reconeguda per una proteïna anomenada 14-3-3, que s'hi uneix i la transporta al citoplasma, on roman inactiva. Aquest mecanisme de segrest impedeix que el complex ciclina B-CDK1 s'activi i pugui començar la mitosi.

21

### *Sistema de vigilància de la mitosi*

Aquest sistema de vigilància controla que no comenci la separació dels cromosomes si no estan units a les estructures del fus mitòtic per tal de poder ser separats correctament. Tal com hem mencionat anteriorment, per tal de començar la mitosi es necessiten els complexos ciclina B-CDK1 actius. Aquesta activació permet la fosforilació de proteïnes que

indueixen la condensació de la cromatina, el trencament de l'embolcall nuclear, l'organització del fus mitòtic i la unió dels cromosomes a aquest fus mitòtic. Llavors, per tal de procedir a la separació dels cromosomes, la ciclina B s'ha de degradar i, per tant, l'activitat del complexos ciclina B-CDK1 s'inhibeix. Si l'activitat dels complexos continua, no es produeix la separació dels cromosomes.

Quan el sistema de vigilància de la mitosi detecta que els cromosomes no estan units correctament al fus mitòtic, el que fa és acumular unes proteïnes que aturen la degradació de la ciclina B i, per tant, no s'inactiva el complex ciclina B-CDK1. En aquestes condicions no se separen els cromosomes, i el cicle no s'atura fins que no s'ha reparat l'anomalia.

Així doncs, els sistemes de vigilància, quan detecten alguna anomalia, regulen la progressió del cicle cel·lular modulant l'activitat dels diferents complexos ciclins-CDK a través de diverses vies de senyalització (figura 1).

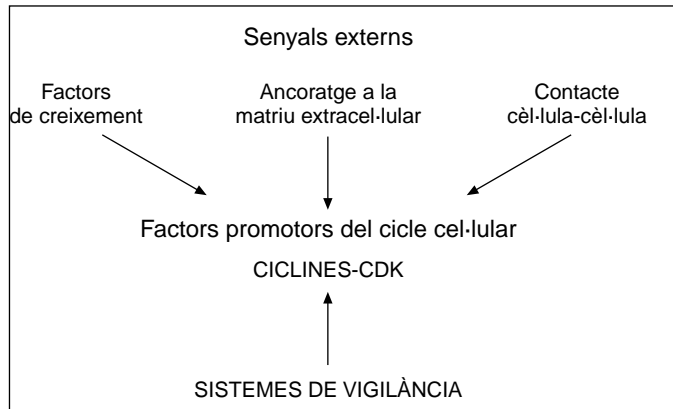


FIGURA 1. Regulació dels factors promotors del cicle cel·lular (complexos ciclins-CDK) pels senyals externs (factors de creixement, ancoratge a la matriu extracel·lular i contacte cèl·lula-cèl·lula) i pels sistemes de vigilància.



## QUINA IMPORTÀNCIA TÉ PER A LA MEDICINA EL CONEIXEMENT DE LA REGULACIÓ DEL CICLE CELLULAR?

El descobriment de les molècules que regulen la proliferació cel·lular té una importància cabdal per a la comprensió de malalties en què la proliferació cel·lular està alterada, com és el cas del càncer. Les cèl·lules canceroses presenten una sèrie d'alteracions que fan que proliferin d'una manera descontrolada. Quina relació tenen aquestes anomalies amb la maquinària reguladora del cicle cel·lular?

La característica principal de les cèl·lules canceroses és que no responen als senyals externs que regulen la proliferació cel·lular. És a dir, aquestes cèl·lules poden créixer en presència de concentracions molt baixes o en absència de factors de creixement activadors, poden ser insensibles a l'acció dels factors de creixement inhibidors com el TGF  $\beta$  i també poden haver perdut la capacitat d'inhibició per contacte entre cèl·lula-cèl·lula. Aquestes característiques els permeten de proliferar contínuament i desordenadament i, per tant, formen acumulacions cel·lulars (tumors) que trenquen l'arquitectura normal dels òrgans, de manera que en generen un mal funcionament. A més, les cèl·lules tumorals poden créixer en suspensió, és a dir, quan es desprenen de la matriu extracel·lular, poden continuar proliferant i, per tant, poden disseminar-se i formar colònies en diferents llocs de l'organisme. Aquestes colònies (metàstasis) generen un problema greu que pot posar fi a la vida de la persona afectada de càncer. Aquest descontrol de la proliferació està produït per alteracions en els mecanismes que controlen l'activitat dels complexos ciclins-CDK.

S'ha trobat que les cèl·lules tumorals sempre presenten alteracions d'alguna de les proteïnes implicades en el control del cicle cel·lular. En alguns casos s'observen pèrdues d'alguna proteïna; en altres casos s'observen quantitats elevades d'altres proteïnes i, en altres, mutacions que afecten

incrementant l'activitat de les CDK. Alguns exemples freqüents són: pèrdues dels inhibidors p15, p16, p21 o p27; pèrdues de pRB; increments de les ciclines D, E o A, increments de CDK4 o CDK2, increments de la fosfatasa CDC25 o mutacions inactivadores de pRB o activadores de les CDK. També és freqüent la presència d'alteracions de proteïnes implicades en els sistemes de vigilància del cicle cel·lular en tumors. L'exemple més significatiu és la mutació inactivadora o la pèrdua de la proteïna p53 en molts tipus de tumors.

Com afecten aquestes alteracions en el control de la proliferació cel·lular? Aquí en presentem alguns exemples. Si les cèl·lules tenen nivells alts de ciclina D, no necessitaran els factors de creixement per tal d'activar la seva síntesi. Això permet entendre per què aquestes cèl·lules podrien ser independents dels factors de creixement per proliferar. Aquest comportament pot estar reforçat per un excés de ciclina E. Si una cèl·lula tumoral té nivells elevats d'aquestes dues ciclines ja no necessitarà per a res l'estímul dels factors de creixement per proliferar.

Si la cèl·lula ha perdut la proteïna p15 o té nivells elevats de CDC25 o ambdues coses alhora, podem entendre que aquesta cèl·lula no respongui al TGF  $\beta$  i continui proliferant en la seva presència, ja que, tal com hem mencionat abans, el TGF  $\beta$ , per tal de frenar la proliferació, incrementa els nivells de p15 i degrada la CDC25 per tal d'inactivar els complexos ciclina D-CDK4 i els complexos ciclina E/A-CDK2.

Si una cèl·lula té nivells baixos o no té p27, quan aquesta cèl·lula es desprengui de la matriu extracel·lular no podrà inactivar els complexos ciclina E-CDK2, a causa d'aquesta manca de p27; per tant, la cèl·lula podrà proliferar en suspensió, disseminar-se per l'organisme i crear colònies en altres llocs.

Si una cèl·lula no té p53 o té inactiva aquesta proteïna, quan es produeixi dany al DNA, no es podrà activar el

sistema de vigilància de dany al DNA i, per tant, el cicle cel·lular no s'aturarà i el dany es transmetrà a les cèl·lules filles, de manera que es generaran anomalies que poden repercutir en diferents graus, entre altres en la capacitat de proliferació de les cèl·lules.

Tal com hem dit abans, totes aquestes alteracions es troben sovint a les cèl·lules tumorals; així, per exemple, és molt freqüent la pèrdua de p16 en els tumors pancreàtics i la pèrdua de p27 i p53 en molts diferents tipus de tumors. També, a títol d'exemple, cal dir que la pèrdua de p27 en els tumors s'ha associat a un mal pronòstic de la malaltia en diferents tipus de tumors. Aquesta pèrdua s'associa, tal com hem explicat abans, a una capacitat pròpia de les cèl·lules de créixer en suspensió i, en conseqüència, a la capacitat per escampar-se per l'organisme i facilitar la generació de metàstasis.

Així doncs, el coneixement dels mecanismes que regulen la proliferació cel·lular, així com les alteracions d'aquests mecanismes que es produeixen a les cèl·lules tumorals, permet en aquests moments aprofundir en el coneixement d'aquesta malaltia i en el disseny de noves estratègies terapèutiques per al seu tractament.



**ELS PREMIS NOBEL  
DE L'ANY 2001  
SOBRE EL  
PREMI NOBEL DE LITERATURA  
CONCEDIT A  
V. S. NAIPAUL,  
A CÀRREC DE  
KATHLEEN FIRTH,  
DE LA UNIVERSITAT  
DE BARCELONA**

Quan fa un parell de mesos es va anunciar el Premi Nobel de Literatura, la meua primera reacció, com sens dubte la de tots aquells que han seguit la carrera d'escriptor de V. S. Naipaul, va ser de satisfacció per algú que s'estava convertint en un perenne candidat al premi però que, igual que Graham Greene, semblava que mai no seria guardonat per una vida dedicada a la professió d'escriptor.

Certament, durant aquestes dues últimes dècades s'han anat sentint veus entre la gent més assabentada que deien que Naipaul destorbava massa gent i massa sovint per aconseguir un premi com aquest, el més prestigiós en el món literari, i que potser s'hauria d'accontentar amb altres premis que ja havia anat guanyant des que van aparèixer els seus primers llibres. No cal dir que cap d'aquests comentaris no constitueixen judicis literaris. Així i tot, un crític va reflectir la consternació que han ocasionat algunes concessions de premis Nobel en aquests últims anys quan va preguntar si els membres del jurat havien «perdut el seny, juntament amb el gust, en la recerca de la correcció política».<sup>1</sup>

No cal dir que la figura de V. S. Naipaul i la noció de correcció política no van juntes, mentre que V. S. Naipaul i la noció de controvèrsia sí que hi van. Un altre guanyador del Premi Nobel també del Carib (guardonat l'any 1992), el poeta i dramaturg Derek Walcott, ha lloat amb fermesa l'elegància de l'obra de Naipaul, alhora que ha lamentat el que ell veu com una repulsió de Naipaul envers els negres i el Tercer Món que l'han fet el que és:

Veig aquestes illes i em ve de gust cridar  
Zona de foscor amb el crepuscle de V. S.

1. Robert HUGHES, *Time*, 22 d'octubre de 2001, p. 71.

és el comentari irònic de Walcott a *The Spoiler's Return*.<sup>2</sup> Així i tot, pel que jo he pogut esbrinar, cap detractor de Naipaul (amb una excepció interessant que comentaré més endavant) no ha qüestionat mai la seva brillantor. Salman Rushdie n'és un bon exemple. Insatisfet amb el contingut d'*Among The Believers*, publicat l'any 1984, en què Naipaul explicava les seves impressions dels països islàmics que havia visitat poc temps abans, Rushdie va sentir que Naipaul havia estat massa estret de mires en la seva aproximació: en primer lloc perquè en el seu viatge no havia inclòs una visita a la península aràbiga per recollir més material per al seu llibre; i en segon lloc perquè havia visitat aquells països islàmics —l'Iran, el Pakistan, Malàisia i Indonèsia— amb «idees preconcebudes» sobre l'Islam que no estava disposat a revisar.<sup>3</sup> Naipaul va ignorar Rushdie. I en el seu segon llibre sobre l'Islam, *Beyond Belief*, publicat disset anys després, va tornar a visitar exactament els mateixos països, però aquesta vegada els va descriure com a països «convertits» a l'Islam. A més a més, no va mostrar gaire preocupació per la compromesa situació de Rushdie a causa de la resposta islàmica contra *Els versos satànics*, sinó que més aviat va aprofitar l'ocasió per lluir el seu brutal sentit de l'humor, tot descrivint el *fatwa* de l'aiatol·là Khomeyni contra l'escriptor com «una forma extrema de crítica literària».<sup>4</sup> Així i tot, podem trobar un exemple de l'admiració de Rushdie per Naipaul en la invitació a contribuir en una important col·lecció de literatura índia en anglès que Rushdie preparava per a l'any 1997, en commemoració del cinquantè aniversari

2. Derek WALCOTT, «The Spoiler's Return». Reeditat a *The Penguin Book of Caribbean Verse in English*, Londres, Penguin, 1986, p. 250.

3. De la meua conversa amb Rushdie durant la conferència AEDEAN a Màlaga, 1984.

4. A l'escenari del Teatre Nacional de Londres l'any 1990. Vegeu *The Sunday Times*, 14 d'octubre de 2001, p. 19.

sari de la independència de l'Índia. Rushdie tampoc no es va estar de citar Naipaul de manera elogiosa en la introducció d'aquesta col·lecció a pesar que Naipaul va declinar la invitació de participar-hi.<sup>5</sup>

Naipaul sempre s'ha mostrat indiferent a les polèmiques que ocasiona. Per si la gent a Espanya havia oblidat les àcides observacions que va fer a Ignacio Carrión a *El País* ara fa vint anys, en les quals comentava la inexistència de literatura espanyola exceptuant el «Siglo de Oro», va repetir el comentari a Madrid l'any 1995. Allà va ser on també va parlar de «l'arrogància» de Catalunya pel fet de no reconèixer el deute que tenien amb Castella per haver-los donat la llengua més bonica que es coneix.<sup>6</sup> El que sembla que oblidava Naipaul és que en entrevistes anteriors no només va criticar la literatura sinó també la llengua castellana:

Crec que el pitjor destí que es pot tenir en aquest món és parlar castellà. Néixer parlant castellà. És de segona categoria, sense literatura.<sup>7</sup>

Per no trobar-se immers en un enfrontament literari amb Rushdie amb relació a la resposta d'aquest sobre el seu llibre islàmic, Naipaul va inferir a un periodista que Rushdie era un d'entre els molts escriptors contemporanis que no tenia temps ni inclinació de llegir:

A les noves obres sempre els dono una mica de temps perquè s'estableixin abans de llegir-les. No vull

5. Salman RUSHDIE i Elizabeth WEST, *The Vintage Book of Indian Writing 1947-1997*.

6. Vegeu «Naipaul, un Nobel ácido», *La Vanguardia*, dissabte 13 d'octubre de 2001, p. 8.

7. *Caribbean Contact*, maig de 1973, p. 15, 18-19; vegeu també *El País*, 24 de juliol de 1983, p. 8.



passar massa temps ocupat amb obres que després es faran fonedisses. Si no és com ser un *crític*, i jo vaig ser crític. Durant cinc anys vaig llegir novel·les i em vaig cremar. Una definició de llibertat és no haver de llegir llibres nous.<sup>8</sup>

Aquesta entrevista va aparèixer després de la publicació de *Finding the Centre* (Londres: André Deutsch, 1984), llibre que va suposar un punt d'inflexió en la seva obra, ja que Naipaul va escriure llargament sobre ell mateix i el seu passat per primera vegada. Aquest fet va generar un seguit d'entrevistes en diverses revistes literàries i premsa que abans el seu acusat sentit de la privacitat no li havia permès de concedir. Al llibre i a les entrevistes menciona la seva admiració per Dickens, Shakespeare, Balzac, Stendhal, Evelyn Waugh i pocs més. De fet, va comentar a un altre entrevistador que per a ell era molt més fàcil de dir quins escriptors no li agradaven que no pas els que sí.<sup>9</sup> Avui la llista negra s'ha fet més llarga i més irascible. Hi inclou, entre molts altres, el Dickens més tardà: «ja sé que als acadèmics els agraden els llibres monòtons... i llibres horrorosos com ara *Hard Times*»; també parla de Somerset Maugham, i diu que les seves «presumptes històries “universals” no ho són gens, d'universals», i no han perdurat, afirma, perquè són «molt colonials, provincianes [i] insulars»; sobre E. M. Forster comenta que «no coneixia en absolut la gent de l'Índia» (això en referència a *A Passage to India*, de l'any 1924), només «la cort, uns quants indis de classe mitjana i els joves jardiniers que volia seduir»; de James

8. En cursiva a l'original. Mel GUSSOW, «V. S. Naipaul: “It Is Out of This Violence I've Always Written”», *The New York Times Book Review*, 16 de setembre de 1984, p. 45.

9. Transcripció d'una entrevista amb Paul Theroux enregistrada a la BBC 2, després de la publicació de *Finding the Centre*, maig de 1984.

Joyce va dir que no el podia llegir perquè «s'estava quedant cec i jo no puc entendre l'obra d'un escriptor cec»... «[i] on vivia?» va preguntar Naipaul, «a Trieste. Durant els últims dies de l'imperi austrohongarès. Però no l'interessa el món. Escriu sobre Dublín i les seves pròpies convulsions, sentiment de culpa catòlic. No l'interessa el món». Naipaul també va incloure a la llista negra la majoria d'autors llatinoamericans, de qui va dir que lluiten per ser el que ell anomena «escriptors oficials»; és a dir, fer el que els qui manen volen que facin, deixant així Llatinoamèrica «eternament en el seu caos, perquè no ofenen ningú»; finalment a la llista hi posa també autors destacats d'excolònies britàniques, com ara el Premi Nobel nigerià Wole Soyinka i fins i tot el gran home de les lletres angloíndies recentment desaparegut R. K. Narayan, segurament perquè els crítics han associat aquests autors amb ell sota les etiquetes de «colonial», «Commonwealth», «exiliat» o bé «indi».

Aquests darrers comentaris els va fer Naipaul en una entrevista amb l'escriptor Farrukh Dhondy fa quatre mesos, just abans de la publicació de *Half a Life*, que va aparèixer el setembre passat.<sup>10</sup> Aquesta és l'obra que va despertar els comentaris adversos sobre Naipaul com a escriptor que anteriorment he citat com a «excepció interessant». I és que per a l'escriptor Paul Theroux, deixeble, company de viatges i antigament bon amic de Naipaul durant dècades, que va atacar ferotgement la personalitat de Naipaul a *Sir Vidia's Shadow* (1998) com a resultat del menyspreu que igualment li havia mostrat, *Half a Life* és una obra «impublicable» que «seria rebutjada de manera instantània» si no fos perquè duia el nom de Naipaul. Considera l'estil de l'obra «feixuc» i «sense alegria», ple de «metàfores que coixegen» i «diàlegs forçats»,

10. Entrevista de Farrukh Dhondy, *Literary Review*, agost de 2001, *passim*.

com si Naipaul estigués parodiant mala literatura quan, en realitat, segons Theroux, està responnent al que ell considera la prosa «buida» d'escriptors com John Updike. Tot i que jo no veig la diferència entre aquesta resposta i una paròdia [encara no he llegit *Half a Life*], Theroux insisteix que Naipaul no és gens divertit a *Half a Life*, fet que òbviament lamenta, especialment quan comenta l'elecció del nom del narrador: «de ben segur que el Naipaul més desvergonyat de fa uns anys hauria trobat un lloc per riure's de la incongruència d'una novel·la que tracta d'un fracassat sexual que es diu Willie». D'aquesta maliciosa manera Theroux ens recorda aquell prodigiós sentit de l'humor irònic que Naipaul posseeix però que sembla haver abandonat en les obres posteriors a *A Flag on the Island* (1967). A pesar de l'enrabiada fins a cert punt comprensible de Theroux, ell mateix també menciona en el seu article que sent una gran admiració per l'obra de Naipaul. És més, no creu que les crítiques naipaulianes envers altres escriptors de contrastada reputació responguin a l'enveja, sinó a la ferma convicció que no té competidors ni rivals.<sup>11</sup>

En vista que tot plegat torna a sonar com un estirabec ple d'orgull, potser ens hauríem d'aturar a preguntar-nos les raons per les quals Naipaul se sent convençut de la seva posició d'autor únic i invulnerable. Per això, jo proposo d'explorar dos factors entrelaçats: el primer, la capacitat de creure en ell mateix com a escriptor; i el segon, el sentiment de des-terrament, tema que la literatura l'ha obligat a comprendre i superar. Penso que això és el que vol dir Naipaul quan afirma que s'ha «descolonitzat a través de la literatura».<sup>12</sup>

11. Paul THEROUX, «The roar of a toothless lion», *Guardian Weekly*, 13 de setembre de 2001, p. 17.

12. Adrian ROWE-EVANS, «V. S. Naipaul», *Transition*, núm. 40, 1971, p. 56-62.

Pel que fa al primer factor, crec que és raonable dir que mai cap escriptor no ha transmès tan gran respecte per la seva professió ni ha escrit tant sobre la vocació d'escriure com ho ha fet V. S. Naipaul. La vocació li va venir del seu pare, Seepersad, que va lluitar per convertir-se en un escriptor en una illa colonial insignificant com Trinidad, i que va estar sempre molt present en els primers anys de la vida del seu fill. Així mateix va donar-li la manera d'explotar l'ambient ambivalència còmica d'una lluita com aquella quan a la llarga Naipaul va anar trobant la seva pròpia veu com a escriptor. Fins llavors, de tota manera, i estem parlant dels anys cinquanta a Londres, on va escriure el seu primer llibre «publicable», la posició de Naipaul era igualment ambivalent i potser revelava una mentalitat més colonial que la del seu pare.

Fill d'un treballador pobre en una plantació de sucre de Trinidad, un dels milers de *coolies* que van ser portats des de l'Índia per substituir els esclaus africans després de l'alliberació, Seepersad així i tot pertanyia a la casta hindú més alta i havia heretat el respecte Brahmin pel passat, el saber i el valor de si mateix que el forçà a sobreposar-se a l'abandó del seu entorn; i això volia dir una comunitat pagesa de parla hindi, supersticiosa i analfabeta en què havia nascut, a la Trinidad colonial, on escriure no es considerava una professió. Seepersad va aprendre anglès pel seu compte i amb el temps va aconseguir una feina en un poble agrari anomenat Chaguanas com a reporter per al diari més important de Trinidad. També escrivia contes sobre aquella comunitat pagesa originària de l'Índia. Fins i tot va aconseguir publicar-ne una col·lecció pagada per ell mateix i possiblement amb l'ajuda de la família més adinerada de la seva dona (la casta alta de Seepersad va permetre-li casar-se amb la filla d'una significativa família hindú que tenia propietats a Chaguanas). Un fet rellevant per a la vocació de Naipaul va ser la seva implicació en el lent procés d'elaboració d'aquests contes, incloent-

hi la preparació dels primers esborranys per a la impremta. D'alguna manera en aquell temps —això passava quan tenia onze o dotze anys— semblava donar-se per fet, «sens dubte», que acabaria convertint-se en escriptor.<sup>13</sup>

De tota manera, el problema era que mentre la noble vocació de Naipaul estava clara des del principi, no tenia cap idea sobre què volia escriure. No va ser fins al cap d'una colla d'anys, després de deixar la Universitat d'Oxford i mentre treballava en un programa literari de la BBC a Londres, que va trobar la seva veu com a escriptor per mitjà de la tornada imaginària a la Trinidad colonial de la qual havia volgut escapar amb tant d'afany. La pròpia mentalitat colonial de Naipaul queda palesa clarament en aquest fet. I és que, al mateix temps que havia compartit els esforços creatius del seu pare per escriure i publicar contes, també l'havia acompanyat en el dolor i les frustracions que el seu pare havia patit en una cultura pagesa que no tenia la tradició de llegir ni d'escriure. Però ell només va fer cas de la pressió que li infligia el seu pare perquè marxés i no va parar atenció a l'enorme significació que tenia el que el seu pare provava d'aconseguir en aquelles duríssimes circumstàncies. Fos com fos, Naipaul havia necessitat pocs estímuls per abandonar el seu pare i la seva illa natal; com ens diu a *The Middle Passage* (p. 43), encara estava a secundària quan va escriure una promesa a la contraportada d'un llibre de text en què afirmava que abandonaria l'illa en el termini de cinc anys. Només traslladant-se físicament d'un lloc on tot era imperfecte a un altre lloc on tot tenia un valor, segons la seva ment colonitzada, pensava que el convertiria en un escriptor de l'estil de la gran tradició anglesa, alguns autors de la qual havia anat llegint aquí i allà amb el seu pare o estudiat a l'escola. Així, els seus primers intents van ser «intents mecànics»

13. «Prologue to an Autobiography», *Finding the Centre*, Londres, André Deutsch, 1984, p. 43.

per escriure com aquells escriptors anglesos i, per tant, destinats al fracàs, perquè, com aprendria Naipaul més endavant, la llengua anglesa li pertanyia, però la tradició no. Certament, fins que no va entendre que escriure com el seu pare li podia ensenyar moltes coses sobre l'art que la seva carrera com a escriptor, no va començar a rodar:

La literatura que ha estat més important per a mi és la del meu pare, la qual no ha estat mai publicada. Em va ensenyar a mirar coses de les quals no se n'havia escrit mai res i que semblaven avorrides. En canvi, quan es transformaven en paper esdevenien molt sorprenents... altres escriptors parlen de societats arrelades: la seva obra m'ha ensenyat que es podia escriure sobre altres tipus de societat.<sup>14</sup>

El fet que volgués escriure sense saber sobre què volia escriure va esdevenir un dels temes tractats amb fina ironia a *The Mystic Masseur*, la primera novel·la de Naipaul (1957), en la qual la còmica sortida del protagonista de l'anonimat pagesívol a la fama política té lloc quan comença a escriure llibres, el primer dels quals és una mena de catecisme hindú per a principiants adults. I no és pas que la societat en què viu s'interessi per la instrucció o pels plaers que aporta la lectura, ja que si els més adinerats compren llibres és només per presumir. No cal dir que l'educació colonial va fer ben poca cosa per millorar els nivells d'alfabetització entre les masses més desfavorides, i aquesta qüestió ofereix un blanc perfecte per a la sàtira de Naipaul, explotada en el passatge anterior a la conversió de Ganesh, el protagonista, al misticisme —i posterior fracàs—, quan es presenta a una entrevista de feina

14. Entrevista amb David Bates, *Sunday Times Magazine*, 26 de maig de 1963, p. 13.

amb el director d'una escola primària que li hauria d'haver servit per intuir un altre possible fracàs. Aquesta és la descripció en clau de farsa de l'absurda situació:

El van enviar a una escola d'un bulliciós districte de l'est de Port of Spain. L'oficina del director també era una aula a vessar d'alumnes. El director estava assegut sota un retrat del rei George V, i va concedir una entrevista a Ganesh.

—Vostè no sap com n'és, d'afortunat —va començar, i es va posar dret d'un salt mentre deia—: Disculpi'm un moment. Tinc allà un noi a qui he de clavar una bona pallissa. Tan sols serà un moment.

Es va obrir pas entre els pupitres fins a arribar al noi, que estava assegut a l'última fila. La classe es va quedar en silenci a l'instant i es va poder sentir amb nitidesa el soroll de les altres aules. Després Ganesh va sentir els esgarips de dolor del vailet darrere la pissarra.

El director estava suant quan va tornar a reunir-se amb Ganesh. Es va eixugar la cara amb un mocador malva i va dir:

—Sí, estava dient-li que vostè és un home de sort. En general, malbaraten els homes com vostè enviant-los al camp... a Cunarip i altres llocs estranys per l'estil.

El director es va posar a riure i Ganesh va tenir la impressió que també havia de riure; però quan ho va fer, el director es va posar seriós i va dir:

—Sr. Ramsumair, desconec el seu punt de vista sobre l'educació dels joves, però vull que sàpiga, abans de començar, que el propòsit d'aquesta escola és la formació i no pas la informació. Tot està planificat.<sup>15</sup>

15. V. S. NAIPAUL, *The Mystic Masseur*, Hardmondsworth, Penguin, 1977 (primera edició de 1957, p. 23-24).

A les primeres obres de Naipaul hi ha caracteritzacions dickensianes similars, representacions còmiques de gent com aquella amb la que va créixer i sobre la qual el seu pare ja havia escrit amb tanta simpatia, però no permetent gairebé mai que el seu humor genial rellisqui i traeixi cap angoixa personal. Però com que Naipaul, i no així el seu pare, havia pogut distanciar-se d'aquell entorn, la seva perspectiva va tornar-se més crítica, i el seu humor, més obscur. Així doncs, quan escriu *A House for Mr. Biswas*, publicat l'any 1961, Naipaul ens presenta el personatge central, que lluita per ser un escriptor a la Trinidad colonial, com un home vençut des del principi.

Curiosament, tot i que *A House for Mr. Biswas* (extensament considerada la seva obra mestra) va ser escrita en homenatge a la memòria de Seepersad i per deixar constància que el seu pare va deixar-li en herència la vocació d'escriptor, a Naipaul li mancava encara una visió global de l'obra del seu pare; i això va continuar durant uns quants anys, fins que va decidir preparar una col·lecció de contes de Seepersad perquè André Deutsch els publicqués a Londres. Va ser aleshores, l'any 1976, quan la seva actitud envers la seva obra va canviar radicalment. El que primer considerava romànticament com unes «possessions privades», van acabar sent per a ell «peces valuoses de la literatura de la regió»;<sup>16</sup> i estaria bé de comentar que, des d'aleshores, Naipaul no ha perdut mai l'ocasió de revelar que se sent meravellat per la insòlita fita assolida pel seu pare.

Malgrat tot, el fet que continués subestimant la importància de l'obra de Seepersad quan va aparèixer *A House for Mr. Biswas* es pot corroborar en la parsimònia de les declaracions que he citat abans, extretes d'una entrevista

16. *Foreword* de V. S. Naipaul. Seepersad NAIPAUL, *The Adventures of Gurudeva and Other Stories*, Londres, André Deutsch, 1976.



que va concedir un any després de la publicació de *Biswas*, quan la seva reputació s'havia consolidat i el seu talent havia estat reconegut en forma de premis literaris diversos. La dècada dels seixanta va marcar un període de transició en la carrera de Naipaul, ja que va ser llavors quan va començar, amb més seguretat, a obrir els seus horitzons més enllà de l'entorn de Trinidad, i a utilitzar material nou per a la seva ficció i els seus primers llibres de viatges. En altres paraules, en aquella època va començar a trobar possible i acceptable el fet d'escriure sobre societats que anteriorment li semblaven amorfes i per les quals sentia vergonya. Tot i això, dient que els contes del seu pare mai no havien estat publicats ens fa veure que els efectes del rentatge de cervell colonial encara són palpables, i que la seva ment encara és incapaç de veure cap valor en res que es produeixi fora de la metròpoli. Així podem concloure que el fet que el seu pare aconseguís publicar la seva obra a Trinidad l'any 1943, per a Naipaul significava el mateix que no haver publicat res de res.

En definitiva, Naipaul sembla obsedit a ser fidel i a reafirmar les opinions airejades a *The Middle Passage*, la seva primera obra de no-ficció, publicada l'any 1962, en la qual havia escrit sobre les seves «antigues pors» de Trinidad, una societat que va descriure com a «cínica» i «filistea», incapaç de crear res de nou perquè, juntament amb la resta de països caribs pels quals havia viatjat per recollir material per a aquesta obra, compartia una història de desesperança:

Com es pot escriure la història d'aquesta futilitat carib? Quin to hauria d'adoptar l'historiador? Tal vegada hauria de ser tan acadèmic com Sir Alan Burns, protestant de tant en tant d'alguna brutalitat, i situant la brutalitat carib en el context de la brutalitat europea? O com fa Salvador Madariaga, hauria de sospesar una col·lecció de brutalitats amb una altra i concloure que

una d'elles no ha estat descrita amb tota la baixesa que es mereixia, i que per tant significaria un greuge per a Espanya? O potser, com els historiadors caribs, que tot just ara poden començar a mirar la seva pròpia història, hauria de distanciar-se'n fredament i explicar la història de la venda d'esclaus com si es tractés d'un aspecte més del mercantilisme? La història d'aquestes illes mai no es podrà explicar de manera satisfactòria. La brutalitat no és l'únic problema. **La història es construeix al voltant de l'assoliment i la creació; i mai no s'hi va crear res, al Carib.**<sup>17</sup>

Aquest passatge, especialment l'última frase (citada sovint), ha estat freqüent font d'indignació al Carib fins als nostres dies. Al qui per primera vegada fou primer ministre de Trinidad Independent, Eric Williams, que havia subvencionat l'obra, no li va fer cap gràcia. Ell volia un llibre de viatges sobre els territoris colonials al Carib per «accelerar el procés de descolonització», però el llibre de Naipaul va emprendre una direcció completament diferent, i Williams, distingit historiador i d'avantpassats africans, no en va voler saber res.<sup>18</sup>

Irònicament, però, tot i que la identitat negra esdevindria la base de la causa radical negra americana durant la dècada següent, els caribenys encara no acceptaven les veritats cantades per Naipaul quan va aparèixer *The Middle Passage*. Com que els negres d'Amèrica no volien mirar cap al seu passat d'esclavatge, escriu Naipaul, s'havien oblidat de l'Àfrica i s'estaven esforçant per aconseguir els ideals de la

17. V. S. NAIPAUL, *The Middle Passage: Impressions of Five Societies —British, French and Dutch— in the West Indies and South America*, Harmondsworth, Penguin, 1978, p. 29. Originalment publicat a Londres, André Deutsch, 1962. (L'ús de la negreta és meu.)

18. Entrevista a Farrukh Dhondy, p. 30.

civilització blanca, menyspreant pel camí tota la resta de civilitzacions, incloent-hi la pròpia. Per posar de relleu el fet que la gent que podia adonar-se d'aquesta anomalia no ho feia, Naipaul cita el rector d'una llavors recent fundada universitat, que havia escrit el que ve a continuació per a una publicació pancaribenya (p. 72):

És necessari... veure'ns des d'una perspectiva tan llunyana com ens sigui possible i reconèixer que la nostra no és una civilització aïllada sinó un bocí més de la gran branca de civilitzacions de què es compon la civilització occidental... la nostra cultura té arrels en la cultura occidental i els nostres valors, en gran part, són els valors de la tradició hel·lenicocristiana.

Però no sou europeus, sou africans, insisteix a afirmar Naipaul a *The Middle Passage*. I perseguint aquesta tradició hel·lenicocristiana esteu provant de tornar blanc el que és negre; esteu negant la vostra història i menyspreant-vos vosaltres mateixos. En el moment en què ells es trobaven afirmant la seva identitat africana, però, Naipaul ja era un mite, l'escriptor més odiat pels afrocaribs.

Important en el sentit que és el primer llibre d'aquesta naturalesa, és a dir, el primer a escrutar els despertars dels processos de descolonització del segle XX, *The Middle Passage* també estableix el to de les posteriors exploracions de Naipaul sobre les noves societats i nacions emergents com ara l'Àfrica, l'Índia, l'Amèrica del Sud i els països islàmics. També és un llibre important perquè el va ajudar a començar a clarificar el concepte de desterrament, que ha estat el concepte clau, la raó fonamental de tot el que Naipaul ha escrit o declarat, i el segon factor que té a veure amb la posició d'autor únic i invulnerable, com ja he suggerit anteriorment. Deslligades dels seus orígens a l'Índia per un gran projecte imperial que va

prendre el control del destí de la generació dels seus avis, les primeres creacions de Naipaul són sovint personatges tragicòmics deixats a la seva sort a les Amèriques, tot just començant a entendre el que significa el seu desterrament.

D'alguna manera com l'escriptor mateix, algú podria afegir, però amb la diferència que ell havia tingut la sort d'escapar de la seva illa colonial, tal com va prometre quan encara era un vailet, per convertir-se en un escriptor a la capital de l'imperi. I com que això vol dir escapar d'un entorn colonial, la qual cosa, per definició, comporta desordre, futilitat, confinament, empresonament i un sentiment angoixant de limitació psicològica, espiritual i social, la idea de fugida serà present en totes les obres en què el rerefons és la Trinidad de l'autor. Però si del que defuig l'autor queda clar, no queda tan clar si la destinació serà millor. Ben al contrari. I és que tal com Ralph Singh descobreix a *The Mimic Men* (1967), per molt limitada i caòtica que fos la seva Trinidad natal, Londres, «el centre del món», representa un «desordre més gran», aportant un sentiment de desterrament que no pot ser atribuït únicament als efectes d'un entorn colonial, sinó que sembla que s'origina en una font compartida per més gent i a qualsevol lloc, tant a les colònies com a les grans metròpolis del món.

*The Mimic Men* va ser la primera obra que va escriure Naipaul després del seu segon llibre de viatges, *An Area of Darkness* (1964), el registre del seu viatge per l'Índia; viatge que ell mateix va admetre que «no hauria d'haver fet mai», un viatge que havia «partit la [seva] vida en dos». <sup>19</sup> Naipaul havia estat a prop de l'Índia des de la seva infància; per a ell representava tot un món, ja que vivia en una família de tres generacions en una casa d'estil indi que el seu avi havia cons-

19. *An Area of Darkness*, Harmondsworth, Penguin, 1977, p. 265. Primera edició a cura d'André Deutsch, 1964.

truït a la Trinidad rural on va néixer Naipaul, i els estris, ritus i costums de l'Índia van estar sempre presents durant la seva infantesa. Però mentre era un món estàtic que esperava la seva desintegració, tal com el seu pare Seepersad havia notat tan clarament, també era un món que estava en contacte amb els esdeveniments importants que succeïen a la seva mare pàtria, com ara la lluita per la independència de l'Índia durant l'adolescència de Naipaul, que preocupava molt la seva família malgrat la distància que els separava del conflicte.

L'Índia era la mare pàtria imaginada, el retorn a la qual era òbviament impossible en termes de temps o d'espai físic, com Naipaul descobriria durant el seu primer traumàtic viatge que hi va fer. A més a més, aquell viatge li va ensenyar que els seus lligams amb la cultura dels seus avantpassats s'havien trencat irreparablement i que, en conseqüència, no pertanyia a cap país: ni a la Trinidad colonial ni, encara menys a Anglaterra, i ara tampoc a l'Índia. Per altra banda, un altre senyal de la seva confiança en la vocació d'escriptor i el seu poder per guiar-lo cap a la descoberta de veritats com aquesta és que, en lloc de portar-lo a tractar realitats socials més manejables, l'experiència de l'Índia el va comprometre a continuar indagant en el concepte de desterrament que al mateix temps anava creixent dins seu. I això és el que va fer a les obres posteriors, com per exemple: *The Mimic Men* (1967), *A Flag on the Island* (1967), *The Loss of El Dorado* (1969) i *In a Free State* (1971), obres amb què les víctimes de la diàspora del món poden identificar-se, com ell mateix. I va confessar durant aquest període de la seva carrera d'escriptor:

Quan parlo de ser un exiliat o un refugiat, no només estic utilitzant una metàfora.<sup>20</sup>

20. Entrevista amb Adrian Rowe-Evans, *Transition*, núm. 40, 1971, p. 59.

Però si l'Índia havia significat una gran experiència de malenconia per a l'escriptor, que inicialment li va impedir d'escriure el llibre que els seus editors estaven esperant (i pel qual ja havien avançat el pagament), la resposta final envers *An Area of Darkness* quan finalment va aparèixer va ser de ràbia pel que es va interpretar com un atac injustificat contra l'Índia independent. Enmig de l'escàndol, però, un destacat poeta de l'Índia, Nissim Ezekiel, va semblar comprendre el dilema existencial de Naipaul en comentar que els seus compatriotes no haurien de qüestionar la veracitat de Naipaul sinó deplorar el to de l'obra que havia escrit sobre el seu país. Ezekiel escriu:

[A *An Area of Darkness*] Naipaul contínuament ensopegava amb indis antipàtics, dèbils, babaus i incaços d'entendre els seus problemes més simples... d'alguna manera hom sent que l'estil arrogant, desagradable i agressiu del senyor Naipaul va contribuir a accentuar les seves dificultats.<sup>21</sup>

És interessant de destacar que aquí Ezekiel no qüestiona l'honestedat de la visió naipauliana. Malgrat que el llibre critica el nacionalisme indi i s'esplaiava en la pobresa, la superstició, els prejudicis, la casta, la hipocresia, la crueltat i tantes altres coses de les quals l'Índia no volia sentir a parlar, Ezekiel s'adona que Naipaul revela la veritat de les situacions tal com la va percebre. Tanmateix hom podria portar aquest argument més enllà i afirmar que *An Area of Darkness* constata, a través de l'emulació, la gran admiració de Naipaul per Gandhi, per la seva visió honesta i clara, per respondre al

21. Nissim EZEKIEL, «Naipaul's India and mine», a Adil JUSSAWALLA (ed.), *New Writing in India*, Harmondsworth, Penguin Books, 1984. Aquest escrit va ser publicat per primer cop l'any 1965.

món tal com ell veia les coses i no pas com el món volia que es veiessin. Sobre Gandhi, Naipaul escriu (p. 73):

Va mirar l'Índia com cap indi havia sabut fer; la seva visió era directa, i això era, i és, revolucionari. Ell veu exactament el que veu un visitant; no ignora el que és obvi. Veu els captaires i els *pandits* desvergonyits i la brutícia de Banaras; veu els atroços hàbits sanitaris dels metges, dels advocats i dels periodistes. Veu la crueltat de l'Índia, el rebuig a veure res. No se li escapa cap aspecte de l'Índia, cap dels seus problemes...

Aquesta, en essència, és la mateixa aproximació punyent i crítica que va adoptar Naipaul en els seus viatges per altres països. I tot i que ara no hi ha temps d'examinar les novel·les i assaigs que ha publicat sobre tots plegats, caldria destacar que en les obres en què tracta, tant sobre països islàmics com africans, va preveure de moltes maneres la violència que hi acabaria havent.

Quan Naipaul va tornar a l'Índia uns quants anys després del seu primer llibre sobre el país, va ser per encàrrec d'un editor americà per analitzar l'estat d'emergència que havia imposat el govern d'Indira Gandhi. El llibre resultant va ser *Índia: A Wounded Civilization* (1977), en el qual Naipaul revela més «veritats inacceptables» que pocs escriptors de l'Índia s'havien atrevit a tractar, o, com ell mateix va dir, havien estat incapaços de tractar perquè pertanyien a l'elit, com la senyora Gandhi i Nehru abans que ella, i per tant no podien entendre la mentalitat de l'Índia pobra. El passat pagès de Naipaul, per altra banda, li va permetre de simpatitzar amb la seva llastimosa càrrega i d'apreciar la feina del Shiv Sena, un partit que la classe mitjana considerava un moviment feixista però que Naipaul va destacar com l'únic que operava a les barriades i ajudava els desvalguts.

La necessitat d'entendre la història de l'Índia per tal d'ensenyar a l'autoenganyada classe mitjana que la seva civilització està ferida com a resultat de la destrucció musulmana sobre la cultura hindú durant cinc o sis segles és una altra crítica devastadora que només podia ser llançada als escriptors de l'Índia per algú amb la perspectiva Brahmin i els orígens pagesos de Naipaul. Però els escriptors indis no ho volen veure, hi insisteix, i, com que no tenen perspectiva històrica, no poden entendre la pobresa de l'Índia i, així, els seus lectors continuen sense veure la llum. Per donar més força a l'argument, Naipaul es refereix a l'obra de R. K. Narayan. Malgrat reconèixer que és un escriptor de gran renom i de seguiment internacional amb una «manera realment màgica d'escriure i de mirar», Naipaul afirma que la visió de Narayan és defectuosa, que les seves obres ofereixen una visió «incompleta». El molesta que Narayan no hagi meditat sobre els efectes de la gran destrucció causada pels musulmans a la seva regió el segle XVI, tot i que va editar una guia dedicada a les restes de Vijayanagar, la ciutat que en el seu moment va ser la magnífic capital d'un antic regne hindú del sud de l'Índia, i que Naipaul havia visitat l'any 1962 quan preparava *An Area of Darkness*. El que sembla abocar-lo al desdeny per Narayan, per tant, és la manca de responsabilitat com a escriptor, el fet que hagi hagut d'entendre el que ha vist però no hagi sabut comunicar-ho en els seus textos, i Naipaul es pregunta: «Com un escriptor pot escriure sobre el seu entorn, la seva cultura, si no sap veure què hi va passar fa quatre-cents anys?»<sup>22</sup>

Potser una pèrdua de tal magnitud és massa gran per a massa gent per ocupar-se'n, i no només a l'Índia, sinó a tots els indrets on les cultures pròpies han estat sotmeses als interessos d'altres poders. Així s'explica la constant recerca nai-

22. Entrevista amb Farrukh Dhondy, p. 32.



pauliana de la noció de desterrament i també la seva obsessió per la importància de la història, perspectiva sense la qual l'obra de l'escriptor pot ser efímera. Aquestes, en qualsevol cas, van semblar les raons dels jutges del Premi Nobel quan van anunciar que Naipaul havia guanyat el premi de literatura per «haver mantingut una narrativa perceptiva i una observació incorruptible en obres que ens obliguen a veure la presència d'històries suprimides».

No obstant aquests fets, tenint en compte la situació actual en què es troba la història de la humanitat, i a pesar que l'Acadèmia Sueca de Ciències no reconeix mai les motivacions polítiques, *Among the Believers* (1981) i *Beyond Belief* (1998), les dues obres polèmiques de Naipaul sobre l'Islam, són les que molts dels seus lectors i lectores han destacat com el factor decisiu a l'hora d'atorgar-li el premi d'aquest any. Si-gui com sigui, pocs podran negar que els jutges han estat agos-sarats en la seva elecció. Jo m'aventuro a suggerir, a més, que l'efecte de l'estil persuasiu de Naipaul ha estat tal, que les no-cions sobre correcció política dels jutges s'han esvaït.

Un dels primers comentaris que Naipaul va fer des-prés d'assabentar-se del guardó va ser amb referència a l'Is-lam. En una entrevista a la BBC va descriure l'Islam com «pitjor que el colonialisme», en el sentit que ha colonitzat la mentalitat de la gent juntament amb els països. Òbviament, no estava dient res que no hagués dit abans. *Among the Believers*, publicat l'any 1981, el va escriure per investigar el fervor islàmic de quatre països no àrabs: l'Iran, el Pakistan, Indonèsia i Malàisia. Va dir que s'havia inspirat a fer-los una visita després de veure, en un canal de televisió nord-ame-ricà, uns manifestants iranians que mostraven un desafortat compromís amb la revolució antioccidental que semblava estar en clara contradicció amb els seus gustos occidentals. Tanmateix, *Among the Believers* dona fe de la seva ràbia envers les contradiccions engendrades en el fonamentalisme

islàmic: veient com «la civilització occidental no es podia dominar, s'havia de rebutjar; al mateix temps se n'havia de dependre».<sup>23</sup> Una de les històries que explica en la seva obra tracta sobre el fonamentalista islàmic, Maulana Madoodi, del Pakistan, que va dur a terme una campanya a favor de la llei islàmica, però quan es va posar malalt se'n va anar a un hospital de Boston per ser tractat allà i va morir als Estats Units. «De Maulana es pot dir que va arribar al seu bocí de cel merescudament pel camí de Boston; i que com a mínim part del camí el va fer en Boeing»,<sup>24</sup> escriu Naipaul a la naipauliana, al mateix temps que ens endinsa esgarrifosament en el tipus de ment que podria tornar-se en la mena de ment que estimbaria avions contra edificis. En aquest primer llibre sobre l'Islam, però, Naipaul buscava entendre els detalls d'una fe de la qual no sabia gairebé res, llevat que semblava disposar a la revolució. I fins que no va fer un segon viatge disset anys més tard, no va quedar-li clar que estava tractant amb conversos, i que nacions i cultures senceres podien ser convertides a una determinada fe perquè la gent tenia poca consciència del seu passat, és a dir, que no sabien res d'ells mateixos. A *Beyond Belief* (1998), doncs, denuncia la crueltat d'una fe que permet un passat només a un poble, l'àrab; i insinua una altra vegada els perills existents per a totes les civilitzacions quan els conversos, sense lleis ni institucions pròpies en les quals confiar, són cridats a destruir en nom de l'honor:

En els seus orígens, l'Islam és una religió àrab. Qualsevol no àrab que sigui musulmà és un convers. L'Islam no és simplement una qüestió de consciència o de

23. Citat per Charles MICHENER, «A Journey Through Lands of Rage», *Newsweek*, 16 de novembre de 1981, p. 60.

24. V. S. NAIPAUL, *Entre los creyentes: un viaje por tierras del Islam*, Barcelona, Quarto-Lasser, 1984, p. 183.

creences, ja que implica exigències imperials. Canvia la visió del món del convers. Els seus llocs sagrats són en terra àrab; la seva llengua sagrada és l'àrab. La idea sobre la història també canvia per al convers. Rebutja la seva, i, tant si li agrada com si no, passa a formar part de la història àrab. Ha de separar-se de tot el que és seu. Les societats experimenten un enorme trastorn, que pot seguir sense resoldre's fins i tot al cap de mil anys; la separació ha de renovar-se una vegada i una altra. Les persones construeixen fantasies sobre qui i què són, i a l'Islam dels països conversos existeix un element de neurosi i nihilisme. Aquests països poden entrar en ebullició fàcilment.<sup>25</sup>

Avui, dilluns 10 de desembre, Naipaul rep el Premi Nobel a Suècia. Divendres passat, en el seu discurs d'acceptació, va parlar de la seva obra com l'intent de comprendre el món, del qual, en bona part, estava aïllat com a membre d'una família d'immigrants a Trinidad.<sup>26</sup> Almenys cal agrair, doncs, que no mostrés menyspreu envers la seva illa natal carib, negant-se a mencionar-la, com va fer en les seves primeres declaracions en saber-se guanyador del Premi Nobel, dient que era «un gran tribut per a Anglaterra, casa meva, i per a l'Índia, la casa dels meus avantpassats».<sup>27</sup>

Tot i que de ben segur continuaran sortint les respostes visceralment que les seves declaracions sempre provoquen, potser aquestes respostes s'equivoquen. Els aspectes naipaulians que trobem més rebatibles són: l'arrogància, el menyspreu, la claredat d'observació tan aguda que es converteix en brutal...; aspectes que el seu estil ha refinat fins al nivell d'art

25. Versió catalana de la traducció de Flora Casas, «Exigencias imperiales del Islam», *ABC*, 12 d'octubre de 2001, p. 3.

26. Vegeu *Avui*, 8 de desembre de 2001, p. 43

27. *Time*, 22 d'octubre de 2001, p. 71.

que ha donat al món un dels seus crítics més àvids. Així, si els habitants de Trinidad el veuen com un «cabró desagraït», al capdavant és «el **seu** cabró desagraït», tal com ha puntualitzat recentment un altre escriptor de la regió;<sup>28</sup> i un escriptor australià ha resumit amb gràcia els sentiments dels admiradors de Naipaul d'altres parts del món, en afirmar que potser Naipaul podia arribar a ser intolerablement groller de vegades, però que «generalment, els bons jans no fan gaire cosa per la literatura del món».<sup>29</sup>

28. Caryl PHILLIPS, «A long way from home», *The Guardian*, 12 d'octubre de 2001, p. 9. (L'ús de la negreta és meu.)

29. Robert HUGHES, *Time*, 22 d'octubre de 2001, p. 71.

<i>La seva obra</i>	<i>Obres traduïdes</i>
<i>The Mystic Masseur</i> , 1957	<i>El curandero místico</i> . Seix Barral (1983)
<i>The Suffrage of Elvira</i> , 1958	
<i>Miguel Street</i> , 1959	<i>Miguel Street</i> . Debate (en preparació)
<i>A House for Mr. Biswas</i> , 1961	<i>Una casa para el señor Biswas</i> . Seix Barral (1983); Debate (1999)
	<i>Una casa per al senyor Biswas</i> . Edicions 62 (gener, 2002)
<i>The Middle Passage</i> (no-ficció), 1962	
<i>Mr Stone and the Knights Companion</i> , 1963	
<i>An Area of Darkness</i> (no-ficció), 1964	
<i>The Mimic Men</i> , 1967	<i>Los simuladores</i> . Seix Barral (1984); Planeta (1997 part d'obra completa: vol. 20)
<i>A Flag on the Island</i> (col·lecció contes breus), 1967	
<i>The Loss of El Dorado</i> (no-ficció), 1970	<i>La pérdida de El Dorado</i> . Debate (2001)
<i>In a Free State</i> , 1971	<i>En un estado libre</i> . Destino (1976; 1981)
<i>The Overcrowded Barracoon</i> (no-ficció), 1972	
<i>Guerrillas</i> , 1975	
<i>India: A Wounded Civilization</i> (no-ficció), 1977	<i>India: una civilización herida</i> . Debate (1998)
<i>A Bend in the River</i> , 1978	
<i>The Return of Eva Peron</i> (no-ficció), 1980	<i>El regreso de Eva Perón</i> . Seix Barral (1983)
<i>Among the Believers: An Islamic Journey</i> (no-ficció), 1981	<i>Entre los creyentes: un viaje por tierras del Islam</i> . Quarto (1984)
<i>Finding the Centre</i> (no-ficció), 1984	
<i>The Enigma of Arrival</i> , 1987	<i>El enigma de la llegada</i> . Debate (2001)
<i>A Turn in the South</i> (no-ficció), 1989	
<i>India: A Million Mutinies Now</i> (no-ficció), 1990	
<i>A Way in the World</i> , 1994	<i>Un camino en el mundo</i> . Debate (1995)
<i>Beyond Belief: Islamic Excursions</i>	<i>Al límite de la fe: Excursiones islámicas entre los pueblos conversos</i> . Debate (maig, 2002)
<i>Among the Converted People</i> (no-ficció), 1998	
<i>Reading and Writing:</i>	<i>Leer y escribir: Crónica personal</i> . Debate (març, 2002)
<i>A Personal Narrative</i> (no-ficció), 2001	
<i>Half a Life</i> , 2001	<i>Toda una media vida</i> . Debate (en preparació)
<i>Letters Between Father and Son</i> (no-ficció), 2001	<i>Cartas entre padre e hijo</i> . Debate (en preparació)



**ELS PREMIS NOBEL  
DE L'ANY 2001  
SOBRE EL  
PREMI NOBEL DE QUÍMICA  
CONCEDIT A  
WILLIAM S. KNOWLES,  
RYOJI NOYORI  
I K. BARRY SHARPLESS,  
A CÀRREC DE  
JOSEP FONT CIERCO,  
DE LA UNIVERSITAT  
AUTÒNOMA  
DE BARCELONA**

La Reial Acadèmia Sueca de Ciències, el 10 d'octubre d'aquest any, va decidir atorgar el Premi Nobel de Química 2001, pel desenvolupament de la síntesi asimètrica catalítica, a William S. Knowles, 84 anys, de Saint Louis (Missouri, EUA) i a Ryoji Noyori, 63 anys, de Nagoya University, Chikusa (Nagoya, Japó) —que comparteixen una meitat del Premi— pels seus treballs sobre les reaccions d'hidrogenació emprant catalitzadors quirals, i l'altra meitat a K. Barry Sharpless, 60 anys, de The Scripps Research Institute (TSRI) (La Jolla, EUA) pel seu treball en les reaccions d'oxidació emprant catalitzadors quirals.

### QUIRALITAT

Encara que els conceptes de quiralitat i de síntesi asimètrica són claus de volta de la química orgànica, aquests conceptes no havien estat mai explicitats en la concessió dels premis Nobel.

54

La quiralitat és la propietat que tenen alguns objectes (o molècules) segons la qual la seva imatge especular no es pot superposar sobre el mateix objecte (o molècula). El mot prové del grec *kheír*, *kheirós*, que significa 'mà', ja que aquesta propietat està clarament identificada en les mans dreta i esquerra: encara que iguals, les mans no són idèntiques, ja que no es poden superposar. És el que passava amb els escrits de Leonardo da Vinci, que només es podien llegir quan es reflectien en un mirall, o quan el mitològic Narcís es reflectia en les aigües del llac. Les molècules quirals es presenten doncs en dues formes enantiòmeres que, tot i tenir la mateixa constitució, és a dir, la mateixa concatenació d'àtoms i per tant les mateixes propietats físiques i químiques, no es poden superposar i es diferencien només per girar el pla de la llum polaritzada en sentit oposat (d'aquí el nom d'enantiòmers, del grec *enantio*, 'oposat') i pel seu diferent comportament davant d'un reactiu també quiral com pot ser un enzim. Els enantiòmers



que giren el pla de la llum polaritzada a la dreta reben el nom de dextrogirs, (+), mentre que els que el giren a l'esquerra són levogirs, (-). Aquesta diferència de propietats entre l'objecte i la seva imatge especular ja va ser prevista per Lewis Carroll, l'any 1871, quan a *Through the Looking Glass and what Alice found there*, fa dir a Alícia: «T'agradaria, gatet, viure a la casa del mirall? Em pregunto si et donaran llet, allà; encara que potser *aquella llet* no és bona per a beure.»

L'activitat òptica dels enantiòmers va ser observada per primera vegada per D. F. Arago (1811) i J. B. Biot (1812 i 1815), quan treballaven amb cristalls hemihèdrics de quars i dissolucions d'alguns sòlids com sacarosa, càmfora i àcid tartàric. Que aquesta activitat òptica era deguda a alguna propietat intrínseca de les molècules ja ho va proposar L. Pasteur (1848) en els seus treballs sobre l'àcid tartàric, però no va ser fins al 1874 que J. H. van't Hof a Utrecht i J. A. Le Bel a París, independentment i quasi simultàniament, van proposar que l'enantioisomeria era conseqüència de la tetra-valència espacial de l'àtom de carboni. Aquestes quatre valències apunten en el espai cap als vèrtexs d'un imaginari tetraèdre, i quan els grups atòmics als quals estan lligades són diferents, es produeix enantioisomeria:

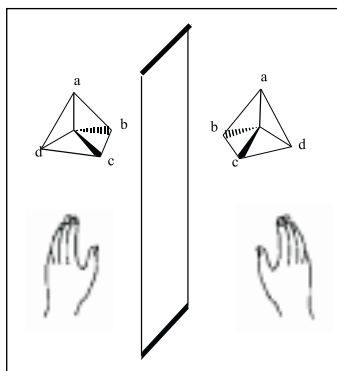


FIGURA 1

La quiralitat implica dissimetria de la molècula (absència de qualsevol element de simetria intern, excepte eixos de rotació  $C_n$ ). Això es compleix rigorosament amb la asimetria de la molècula, i en la majoria dels casos es basa en la presència d'un o més àtoms de carboni asimètrics, és a dir, lligats a quatre substituents diferents (Cabcd).

L'enantioisomeria és conseqüència, doncs, de l'estereoquímica de les molècules. Des de van't Hof, la química ha deixat de ser plana per esdevenir tridimensional.

La importància d'aquesta química en tres dimensions, tot i haver-se predit durant el segle XIX, va quedar congelada al llarg de bona part del segle XX i constreta en la constatació de l'existència d'enantiòmers, en saber que moltes molècules naturals eren homoquirals (és a dir, tenien el mateix sentit de quiralitat) i que tenien una configuració determinada (és a dir, una disposició espacial concreta dels diferents grups), la qual era dilucidada per mètodes diferents. Fonamentalment existeixen dos convenis per assignar la configuració d'un enantiòmer: *a*) el conveni d'E. Fischer, emprat normalment en hidrats de carboni i en aminoàcids, que classifica les molècules quirals en enantiòmers de la sèrie **D** i de la sèrie **L** prenent com a referència el **D**-gliceraldehid i l'**L**-gliceraldehid; *b*) el conveni o regles de Cahn, Ingold i Prelog, més precís, i en què cada enantiòmer (o, més ben dit, cada centre estereogènic) és classificat com *R* o *S*, segons unes regles molt ben estructurades i basades en l'assignació de prioritats dels quatre àtoms o grups d'àtoms lligats covalentment al centre estereogènic.

De fet, si fem un repàs dels guardonats amb el Premi Nobel de Química des del seu inici, veurem que el primer Nobel (1901) va ser precisament per a van't Hof, però no per la seva descripció de l'estereoquímica de les molècules orgàniques, sinó pel seu descobriment de les lleis de la dinàmica química i la pressió osmòtica de les dissolucions. El terme *es-*

*tereoquímica* no apareix fins als premis concedits el 1975 a J. W. Cornforth i Vladimir Prelog, pels seus treballs sobre l'estereoquímica de les reaccions catalitzades per enzims i per l'estereoquímica de les molècules orgàniques i de les seves reaccions, respectivament. D'altres premis s'han concedit pel treball en síntesi orgànica en general (sobretot de molècules complicades i amb estereoquímiques definides): E. Fischer (1902), R. Willstätter (1915), A. Windaus (1928), H. Fischer (1930), W. N. Haworth i P. Karrer (1937), R. Kuhn (1938), R. Robinson (1947), O. Diels i K. Alder (1950), A. Todd (1957), R. B. Woodward (1965) i E. J. Corey (1990), entre d'altres. Però en cap d'ells no es premiava en concret la síntesi asimètrica o enantioselectiva, potser perquè en moltes d'aquestes síntesis s'arribava al producte racèmic. Hem hagut d'esperar al centenari dels premis Nobel per retrobar l'enorme poder de predicció dels treballs de van't Hof i Le Bel —l'últim dels quals, per cert, no va rebre mai el Premi.

## LA VIDA ÉS QUIRAL

La importància de les molècules quirals, o, més ben dit, del conjunt de molècules que tenen un sol sentit de quiralitat, les molècules homoquirals, prové del fet que moltes de les molècules que constitueixen els blocs fonamentals dels éssers vius (quasi tots els aminoàcids, tots els hidrats de carboni o sucres, tots els nucleòsids, el mateix DNA i RNA, molts metabòlits secundaris com alcaloides, esteroides, antibiòtics, etc.) presenten un sol tipus de sentit homoquiral. Així, tots els aminoàcids, menys un que és aquiral, són de la denominada sèrie **L** (que no necessàriament vol dir que siguin levogirs), els sucres —la ribosa o la glucosa, per exemple— són de la sèrie **D** (que no necessàriament vol dir que siguin dextrogirs), i el DNA s'enrotlla segons una hèlix cap a la dreta.

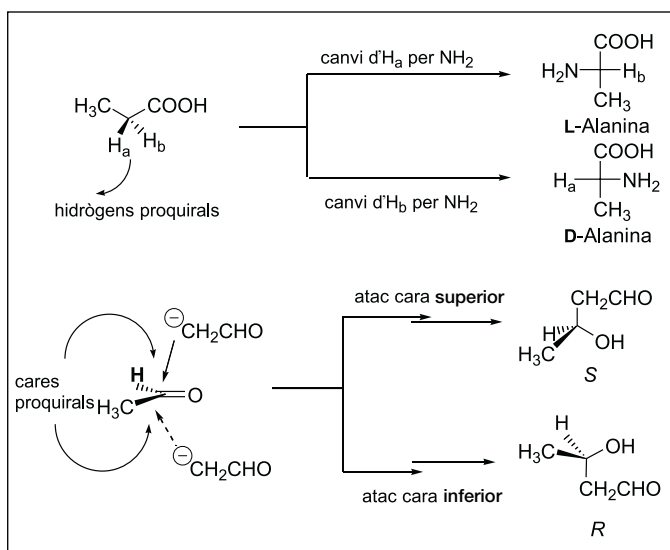
Podríem dir que la vida és quiral, o, més ben dit, homoquiral, ja que, com a regla general, només existeix un determinat enantiòmer per a aquests blocs fonamentals. Com a conseqüència, les proteïnes i els enzims són enantiòmerament purs i, generalment, sols reconeixen un enantiòmer dels dos possibles dels substrats quirals sobre els quals actuen, i sintetitzen solament un dels dos possibles enantiòmers d'una molècula quiral; quasi mai no elaboren simultàniament els dos enantiòmers o, si es vol, barreges racèmiques. La vida, per tant, està basada en la quiralitat i, més concretament, en l'homoquiralitat. I es comprèn que sigui així, ja que la codificació i transmissió de la informació és molt més senzilla en un suport homoquiral que no pas si s'hagués de fer amb barreges racèmiques.

#### SÍNTESI ASIMÈTRICA

La part problemàtica de la quiralitat radica en el fet que és impossible sintetitzar un enantiòmer determinat sense la participació en la reacció d'un element quiral intern o extern, o dit d'una altra manera, les síntesis asimètriques absolutes no les sabem fer.

Les molècules senzilles o petites no acostumen a tenir la propietat de la quiralitat, ja que són molt simètriques. Penseu, per exemple, en les molècules d'aigua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), clorur d'hidrogen ( $\text{HCl}$ ), amoníac ( $\text{NH}_3$ ), o en molècules orgàniques com el metà ( $\text{CH}_4$ ), l'età ( $\text{CH}_3\text{CH}_3$ ), l'etilè ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ), el formol ( $\text{H}_2\text{CO}$ ), l'acetaldehid ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ ), l'àcid acètic ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), etc. Fins i tot molècules més elaborades, com l'àcid propiònic ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ) o l'1-butè ( $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$ ), són aquirals. Algunes d'aquestes molècules són, però, proquirals, és a dir, que si reaccionen i augmenten en complexitat poden esdevenir quirals. La proquiralitat és, doncs, un terme que defineix

la presència de lligands o cares en una molècula aquiral, de manera que si hi ha un canvi en un d'aquests lligands o una addició en una d'aquestes cares de la molècula, la nova molècula que en resulta es converteix en quiral. Per exemple, si en l'àcid propiònic es canvia un dels hidrògens del carboni central per un grup  $\text{NH}_2$ , s'obté l'aminoàcid alanina; la configuració d'aquesta nova molècula serà **D** o **L** en funció de l'hidrogen canviat. Resultats similars es poden derivar de la condensació aldòlica entre dues molècules d'acetaldehid o en l'addició d'aigua en l'1-butè, en funció de la cara del doble enllaç  $\text{C}=\text{O}$  o  $\text{C}=\text{O}$  respectivament que és atacada (vegeu l'esquema 1). Si el canvi o l'addició no es pot controlar, s'obtenen els dos enantiòmers possibles en forma de barreja racèmica. El control estereoquímic d'aquestes reaccions de manera que s'obtingui un, o majoritàriament un, dels dos enantiòmers es denomina síntesi asimètrica.



ESQUEMA 1

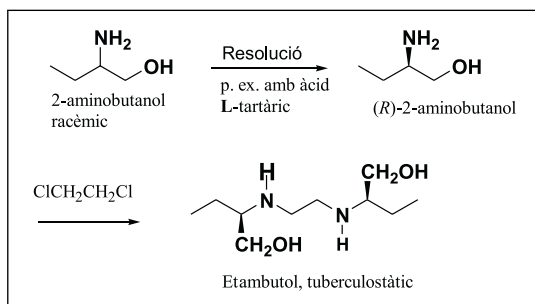
La pregunta de com ha sorgit l'homoquiralitat biomolecular, i en quin moment de l'evolució va tenir lloc, roman sense resposta. Els experiments de S. Miller van confirmar fa anys que en les condicions primigènies de la Terra es podien formar aminoàcids, sucres, bases nucleiques, etc., però els productes obtinguts sempre eren racèmics. Com aquestes barreges racèmiques, presents en la «sopa» imaginada per A. I. Oparin, van decantar-se en enantiòmers concrets és quelcom que desconeixem. Hi ha hagut múltiples intents d'inducció de la quiralitat, que no ve al cas de comentar ara i aquí. Una bona revisió és l'efectuada per Ben L. Feringa i R. A. van Delden a *Angew. Chem. Int. Ed.*, núm. 38 (1999), p. 3418. Però sí voldria referir-me al més recent de tots publicat per investigadors catalans [J. M. Ribó *et al.*, *Science*, núm. 292 (2001), p. 2063], en què demostren que el signe de la quiralitat de certes mesofases (agregats moleculars) formades en solucions agitadaes pot induir-se pel gir del vòrtex. Encara que aquests experiments són lluny de la síntesi asimètrica absoluta, sí que podrien ser un inici de prova que en diferents llocs de la Terra, per la rotació de la mateixa, s'haguessin format estructures quirals del mateix signe que, si posteriorment haguessin actuat com a catalitzadors, podrien haver generat la partició de la simetria molecular observada en les biomolècules quirals.

#### SÍNTESI ASIMÈTRICA EN EL LABORATORI I EN LA INDÚSTRIA

Hi ha diverses maneres d'aproximar-se a una síntesi asimètrica, que podem resumir en les tres que exposem a continuació:

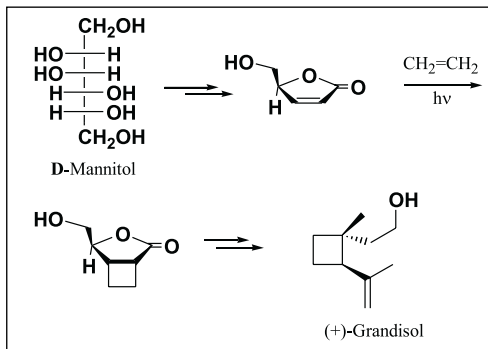
a) Els compostos homoquirals (o enantiopurs) poden aconseguir-se al laboratori per resolució dirigida de barreges racèmiques, és a dir, separant (amb mètodes quirals físics o químics) un enantiòmer d'un altre. Un exemple industrial és la fabricació d'etambutol, un dels tuberculostàtics més

emprats, que s'exposa de manera abreujada en l'esquema 2 i en el qual la separació d'enantiòmers s'aconsegueix per mitjà de la formació de sals diatereoisomèriques amb l'àcid L-tartàric natural, sals que, en aquest cas, són relativament fàcils de separar per cristal·lització fraccionada, però que no sempre és així.



ESQUEMA 2

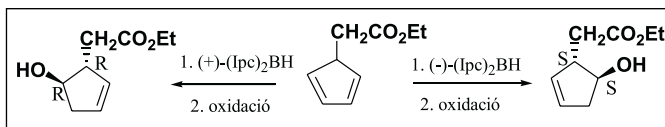
b) També per l'ús de substàncies homoquirals, quasi sempre d'origen natural, com a productes de partida, que són estereoselectivament transformades fins a la molècula objectiu final, òpticament activa. Els hidrats de carboni, els aminoàcids naturals, els terpens, etc. han estat metabòlits primaris o secundaris emprats com a productes de partida (*pool* quiral) per a la síntesi de substàncies homoquirals d'interès científic o industrial. L'exemple de l'esquema 3 és un dels molts que es podrien donar, en el qual una molècula del *pool* quiral, el **D**-mannitol és transformat en la feromona (+)-grandisol, feromona d'atracció sexual de diferents insectes, especialment d'*Anthonomous grandis*, bequerut del cotoner [J. Font *et al.*, *Tetrahedron*, núm. 52 (1996), p. 1279].



ESQUEMA 3

c) I, finalment, per conversió d'un precursor proquiral en un producte quiral (síntesi asimètrica). Aquest últim tipus de transformacions requereix l'ús de reactius homoquirals, d'auxiliars homoquirals que momentàniament s'incorporen al substrat, o bé de catalitzadors homoquirals. En tots els casos es necessita, doncs, un agent quiral. L'avantatge dels catalitzadors és que s'empren en petites quantitats i actuen com si amplifiquessin o multipliquessin la quiralitat.

L'esquema 4 mostra un exemple de l'ús d'un reactiu quiral, un borà derivat del (-)- $\alpha$ -pinè, que en les seves dues formes enantiòmeres dóna, actuant sobre un substrat proquiral, un enantiòmer o un altre.

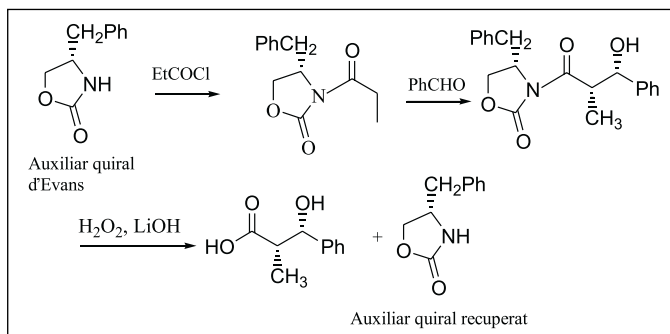


ESQUEMA 4

L'esquema 5 descriu un exemple de l'ús d'un auxiliar quiral en una reacció aldòlica. En ambdós casos, tant el



reactiu quiral com l'auxiliar quiral s'empren en quantitats estequiomètriques. El reactiu quiral es consumeix i l'auxiliar quiral amb bona sort es podria recuperar i reutilitzar.



ESQUEMA 5

En cap dels dos casos la inducció o transferència d'asimetria no és total. Això és especialment veritat quan usem auxiliars quirals: la inducció d'asimetria depèn molt dels efectes estèrics i, per tant, de la proximitat de l'auxiliar quiral al centre estereogènic que es crea de bell nou.

63

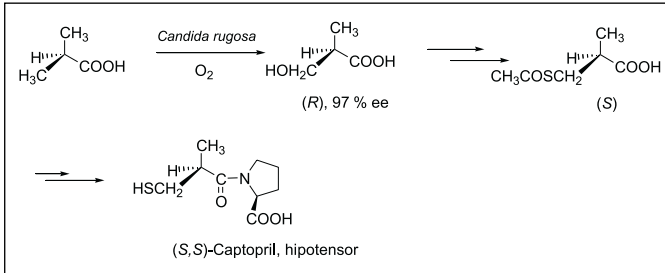
## CATALITZADORS QUIRALS

Precisament el Premi Nobel d'enguany s'ha atorgat per premiar els treballs que els tres guardonats han fet en l'ús de determinats catalitzadors quirals per aconseguir síntesis asimètriques. Com se sap, un catalitzador intervé en una reacció química rebaixant la seva energia d'activació i fent-la anar més ràpidament i en condicions més suaus, però no es consumeix. Si el catalitzador és homoquiral i complex, amb un dels reactius proquirals de la reacció es produeixen dos estats de transició diferents, diastereomèrics i amb energies

diferents, de manera que cadascun pot donar lloc a un dels dos enantiòmers possibles: si la diferència energètica és prou ampla, únicament es forma un dels dos enantiòmers, encara que normalment tan sols s'obté un excés de l'un sobre l'altre. Es defineix com a excés enantiòmer (*ee*) la diferència de les proporcions (expressada en tant per cent) entre els dos enantiòmers dividida per 100: si, per exemple, d'un enantiòmer se'n formen 9 parts i de l'altre 1 part, l'excés enantiòmer és del 80 %. Per tant, en les reaccions asimètriques catalítiques, una petita quantitat d'un catalitzador enantiòmerament pur, bé sigui un enzim o un catalitzador sintètic, permet produir grans quantitats d'un compost òpticament actiu a partir d'un precursor aquiral. A aquest efecte se li ha donat el nom d'amplificació o multiplicació de la quiralitat.

Els enzims (o els microorganismes que els contenen) són catalitzadors homoquirals i treballen sota el mateix principi i, per tant, poden usar-se també per efectuar transformacions enantioselectives. En el si de les cèl·lules els enzims són extraordinàriament efectius, però el seu ús com a catalitzadors en química orgànica és més complicat. El desavantatge dels enzims recau en el seu elevat preu i en el fet que no sempre es poden emprar solvents apropiats que dissolguin a la vegada l'enzim i el substrat. En el cas dels microorganismes els problemes són similars. I en tots dos casos també és difícil la separació final del producte quiral. Tot i això, n'hi ha nombrosos exemples i avui dia és un camp especialment conreat. L'esquema 6 n'és un exemple prou significatiu.

Els catalitzadors sintètics més usats en química convencional solen ser metalls de transició (Ti, Fe, Co, Pd, Ru, Rh, Mn, etc.), però cal fer-los quirals introduint-hi lligands homoquirals que s'han de sintetitzar a part. Els metalls de transició poden coordinar, expansionant la seva capa de valència, amb lligands donants d'electrons, i encara coordinar amb altres molècules a les quals proporcionen la necessària



ESQUEMA 6

energia d'activació per induir una determinada reacció. Perquè el procés sigui catalític, el complex reactiu ha de poder ser regenerat i, el producte, alliberat del centre metàl·lic (vegeu la figura 2).

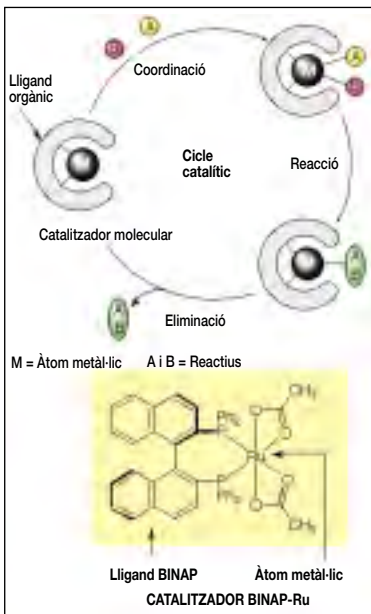
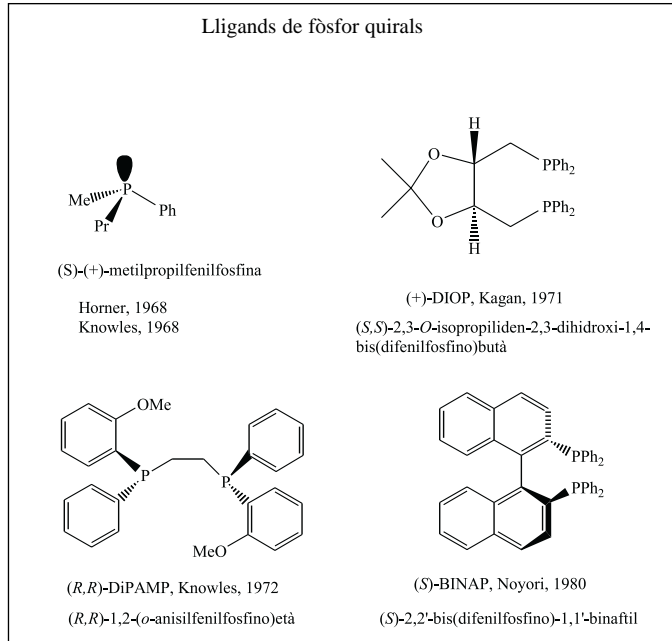


FIGURA 2

Exemples de lligands comuns donadors d'electrons són el monòxid de carboni, amines, alcoholats, fosfines, etc. Generalment, aquests lligands han de ser mòbils per poder-se intercanviar amb les molècules que han de reaccionar. Per exemple, penseu en el catalitzador  $\text{H-Co}(\text{CO})_4$  emprat en les hidroformilacions no asimètriques d'olefines: la catàlisi s'inicia intercanviant un CO per una molècula d'olefina que forma un complex  $\pi$  amb el metall. Però, si es vol induir quiralitat, hi ha d'haver uns lligands quirals coordinats permanentment amb el metall, i deixar espai encara per a la coordinació amb les molècules reactives: l'àtom de fòsfor proporciona lligands relativament estables (vegeu la figura 2). I donada la disposició espacial (estereoquímica) de les

66



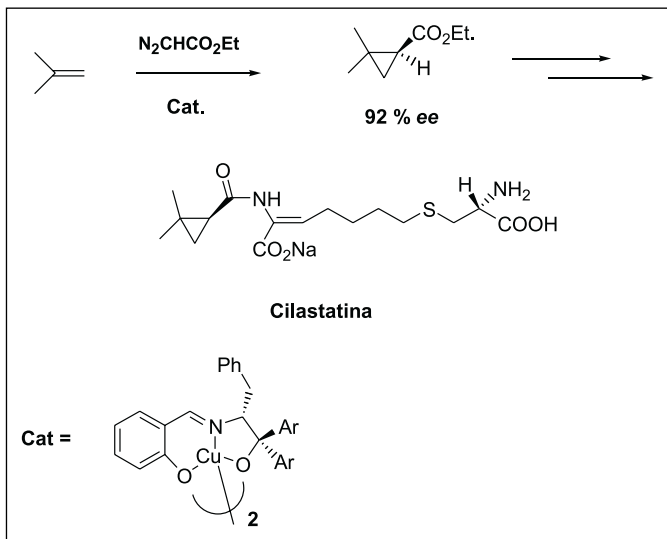
ESQUEMA 7

valències de coordinació dels metalls, els lligands bidentats quirals són especialment adients en la catàlisi asimètrica (vegeu l'esquema 7, per exemple de lligands de fòsfor). En aquests casos l'àtom metàl·lic proporciona un entorn quiral, gràcies als lligands quirals incorporats, perquè les dues molècules que han de reaccionar es disposin de manera que la reacció sigui enantioselectiva i, a la vegada, ajudi a trencar i crear nous enllaços facilitant la reacció.

#### SÍNTESI ASIMÈTRICA CATALÍTICA

Probablement els primers a descriure una reacció asimètrica catalítica no enzimàtica van ser Bredig i Fiske [G. Bredig i P. S. Fiske. *Biochem. Z.*, 46, 7 (1912)], que van obtenir excessos enantiòmics del 20 % en la formació de la cianohidrina del benzaldehyd en presència d'una base quiral natural, la quinina. Però van ser Nozaki i Noyori els qui, l'any 1966, van utilitzar per primer cop un catalitzador quiral de coure per efectuar la ciclopropanació asimètrica d'olefines amb diazoesters, reacció que després s'ha usat per obtenir ciclopropans òpticament actius d'interès industrial (vegeu l'esquema 8). El lligand quiral que complexava el coure era, en aquest cas, una base de Schiff.

Dos anys després, independentment i al mateix temps, L. Horner i W. S. Knowles van publicar hidrogenacions enantioselectives catalitzades per rodi complexat amb fosfines quirals (per exemple, (*S*)-(+)-Me(Ph)PPr). Horner va emprar una fosfina terciària, la (*S*)-(+)-fenilmetilpropilfosfina, i clorur d'1,5-hexadiè-rodí, hidrogenant  $\alpha$ -etilèstirè i  $\alpha$ -metoxiestirè a (*S*)-(+)-2-fenilbutà i (*R*)-(+)-1-metoxi-1-feniletà, respectivament, i va publicar el seu treball a l'*Angewandte Chemie* de l'any 1968, el mateix any que Knowles publicà el seu primer resultat al *Chemical Communications* emprant el



mateix lligand quirals. El 1971, H. B. Kagan i T. P. Dang descriuen la primera fosfina quirals bidentada i amb simetria  $C_2$ , el DIOP, per realitzar hidrogenacions enantioselectives d'enamides proquirals, catalitzades per rodi quelat amb aquest tipus de fosfines. Henri Kagan va descobrir la importància dels lligands quirals difosfínics amb simetria  $C_2$  abans que Knowles i molt abans que Noyori (vegeu-ho més endavant). El lligand quirals emprat per Kagan fou el DIOP, 2,3-*O*-isopropilidene-2,3-dihidroxidene-1,4-bis(difenilfosfina)butà, i va aconseguir excessos enantiòmics de l'ordre del 70 % en hidrogenar àcid  $\alpha$ -acetamidocinàmic o l'àcid  $\alpha$ -(fenilacetamido)acrílic amb catalitzadors de rodi que estaven complexats amb DIOP. L'any 1972 es van publicar hidroformilacions enantioselectives, però amb *ee* molt baixos, en presència de catalitzadors quirals de cobalt (Piero Pino *et al.*, *Chimia*) i de rodi (M. Tanaka *et al.*, *Chem. Lett.* i Ogata *et al.*, també a *Chem. Lett.*). Com sempre

passa en ciència, l'aproximació a la recerca crucial estava en l'ambient i diversos investigadors hi anaven al darrere, i tots ells hi van contribuir de manera positiva, amb tempteigs i errors successius, però al final només un o dos són els reconeguts. En aquest cas, tres.

#### DOCTOR WILLIAM S. KNOWLES

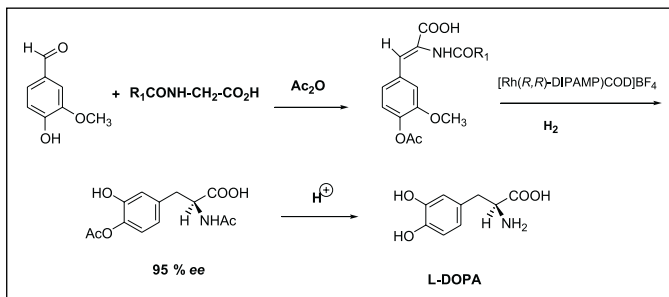
El mèrit del doctor William S. Knowles va ser el de descobrir un determinat lligand, el DiPAMP, que quelant metalls de transició (especialment rodi) donava catalitzadors quirals extraordinàriament efectius en la hidrogenació de dobles enllaços (concretament de dobles enllaços C=C d'enamides proquirals) amb rendiments quantitius i productes enantiòmerament molt purs ( $ee > 99\%$ ): resultats que publicà al *J. C. S. Chem. Commun.* de 1972. Com s'ha esmentat abans, al mateix temps que Knowles, altres investigadors, com L. Horner i H. B. Kagan, van aconseguir hidrogenacions enantioselectives similars emprant també catalitzadors de rodi amb lligands quirals. Aquests autors indicaven que els excessos enantiòmers eren baixos. La troballa de Knowles, basada en l'ús de fosfines bidentades quirals amb simetria  $C_2$  i en la hidrogenació d'enamides, és molt similar a la de Kagan, però el seu lligand li proporcionà excessos enantiòmers superiors al 95%. Això, i el fet que immediatament ho apliqués a una síntesi industrial, és probablement el que ha condicionat la decisió de l'Acadèmia de Ciències Sueca perquè la concessió del Premi recaigués sobre ell, deixant Horner i Kagan al marge. En termes de patents seria la diferència que hi ha entre novetat i capacitat inventiva: Kagan aporta la novetat, però la capacitat inventiva està de part de Knowles. No crec que hi hagi hagut altres motius...

De fet, catalitzadors solubles d'hidrogenació amb lligands aquirals, del tipus  $(Ph_3P)_3RhCl$ , havien estat intro-

duïts ja per J. A. Osborn i G. J. Wilkinson l'any 1966, l'últim dels quals ja va rebre per això el Premi Nobel de 1973. Knowles va saber traslladar la tècnica a la síntesi asimètrica o enantioselectiva utilitzant fosfines quirals que havien estat sintetitzades per Horner i Mislow. La primera fosfina emprada per Knowles no era enantiòmerament pura, però tot i amb això els productes resultants mostraven un 15 % d'excés enantiòmer. Més tard, el seu equip va desenvolupar un catalitzador catiònic de rodi que contenia el lligand difosfínic quiral (*R,R*)-DiPAMP, és a dir, (*R,R*)-1,2-bis(*o*-anisilfenilfosfino)età, de simetria  $C_2$ , com el de Kagan, i el lligand mòbil ciclooctadiè (COD), catalitzador que es va demostrar d'una eficàcia molt superior. Entre d'altres coses es podia treballar amb relacions de substrat: catalitzador de l'ordre de 10.000-15.000:1; és a dir, en quantitats realment catalítiques. I, a més, com que Knowles treballava a la indústria farmacèutica (Monsanto a Saint Louis, EUA), ho va aplicar a una síntesi asimètrica a escala industrial del L-DOPA, un dels fàrmacs més emprats per atenuar els efectes de la malaltia de Parkinson (vegeu l'esquema 9). Precisament, el Premi Nobel de Medicina de l'any passat va ser concedit a Arvid Carlsson pel descobriment dels efectes de l'isòmer levorotatori de la DOPA en la transmissió nerviosa. L-DOPA pot travessar amb facilitat la barrera hematoencefàlica i després es transforma, per descarboxilació, en dopamina, que és el veritable neurotransmissor. La deficiència en dopamina és la causant d'aquesta malaltia en concret. L'enantiòmer D-DOPA no és descarboxilat pels enzims.

Aquest és un dels aspectes més importants de les molècules homoquirals. Com que les biomolècules, per exemple els enzims i els seus centres receptors, són homoquirals, «reconeixen» més bé un determinat estereoisòmer d'un fàrmac: aquest estereoisòmer serà, doncs, el veritable remei, mentre que tots els altres, si són subministrats, no faran cap





ESQUEMA 9

efecte, i fins i tot poden resultar tòxics. Aquest va ser el cas de la talidomida, que, prescrita en forma de barreja racèmica (és a dir, els dos enantiòmers possibles), durant els anys seixanta a dones embarassades, va provocar teratogènia (malformacions com la focomèlia, falta o escurçament de les extremitats superiors) en molts dels nascuts: un dels enantiòmers tenia les propietats sedants que es desitjaven, però l'altre va resultar ser altament tòxic. Des d'aleshores, els fàrmacs disimètrics han de ser obtinguts en la seva forma enantiòmera farmacològicament activa, i només es poden fabricar barreges racèmiques o mesclades de diferents estereoisòmers si s'ha demostrat que, un per un, no són tòxics, i a més que són també actius.

Crec que és curiós remarcar que el doctor Knowles ha rebut el Premi Nobel havent publicat només vint-i-un articles científics, però el *Procés Monsanto* per la síntesi del L-DOPA va constituir la primera síntesi asimètrica catalítica comercial que emprava un catalitzador quiral d'un metall de transició, i el seu espectacular èxit va contribuir al creixement explosiu de la recerca en síntesi asimètrica catalítica i al descobriment de noves reaccions asimètriques, algunes de les quals són d'aplicació industrial, com veurem més endavant.

Com ja hem indicat, el professor R. Noyori va iniciar els seus estudis sobre catalitzadors quirals el 1966. Ell va ser qui introduí per primer cop el concepte d'amplificació o multiplicació de la quiralitat i ha dissenyat catalitzadors que rivalitzen entre si o, fins i tot, en certs casos, sobrepassen les eficàcies dels enzims naturals. Juntament amb H. Nozaki, l'any esmentat, van comunicar per primera vegada la ciclopropanació asimètrica d'olefines proquirals per l'acció de diazoesters catalitzada amb compostos de coordinació de coure; els lligands eren bases de Schiff quirals, com s'ha comentat abans (vegeu l'esquema 8). Aquest treball pioner va ser seguit per molts altres autors amb altres olefines i catalitzadors, mirant d'incrementar la diastereoselectivitat (especialment la possibilitat d'obtenir els estereoisòmers *cis*, termodinàmicament menys estables) i sobretot els excessos enantiòmics. T. Aratani, A. J. Hubert, S. Masamune, A. Pfaltz, D. A. Evans, etc. han continuat la recerca inicial de Noyori i han contribuït en el tema de manera important, introduint nous lligands i metalls.

Els lligands amb simetria  $C_2$  són particularment efectius perquè rebaixen el nombre possible d'estats de transició diastereoisomèrics. De fet, el professor Noyori va desenvolupar un temps després que Knowles i Kagan (1980) catalitzadors d'hidrogenació basats en molècules organometàl·liques consistents en un àtom o ió metàl·lic (especialment rodi o ruteni) i un lligand quiral amb simetria  $C_2$ , el 2,2'-bis(difenilfosfino)-1,1' binaftil, que és conegut amb el nom de BINAP. La quiralitat d'aquesta molècula prové de la restricció en el gir de l'enllaç senzill que lliga els dos nàftils: observeu que la molècula és disimètrica, és a dir, a pesar de tenir un element de simetria, l'eix  $C_2$  és quiral (figura 3).

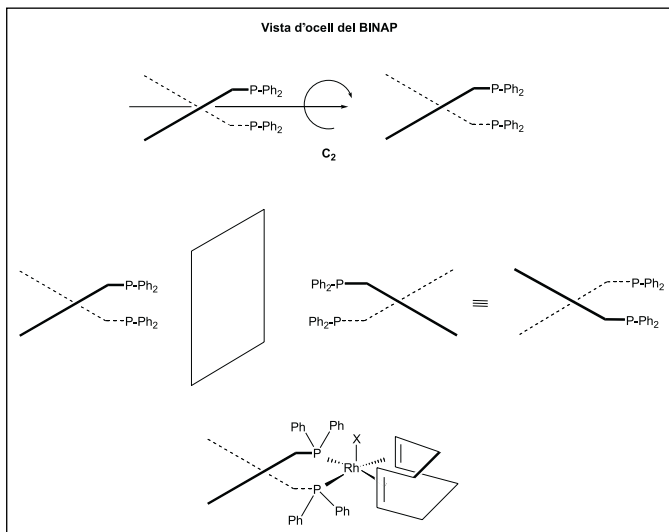
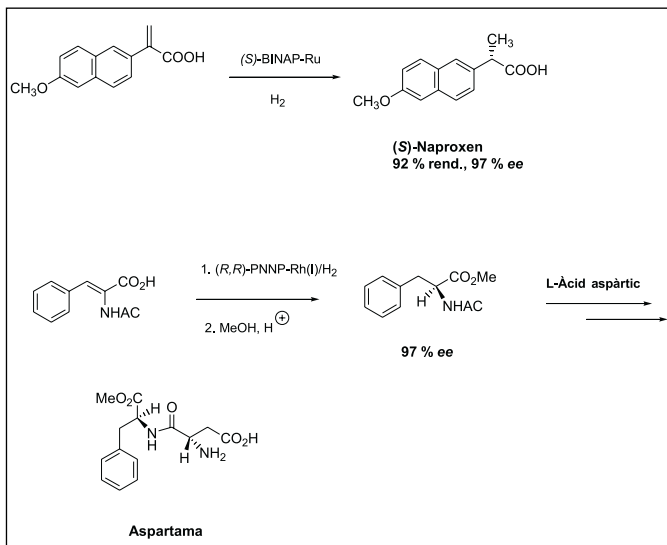


FIGURA 3

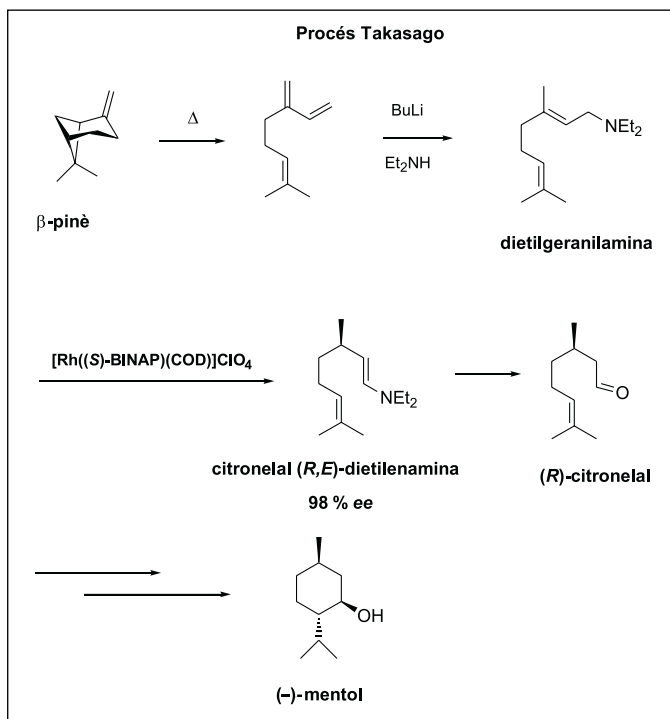
L'èxit de Noyori prové del descobriment que aquest lligand és molt robust i estable i, per tant, dóna lloc a *turn-overs* molt elevats. El BINAP coordina tant amb el rodi com amb el ruteni, i Noyori va efectuar hidrogenacions asimètriques d'enamides proquirals, com Knowles, per obtenir aminoàcids amb *ee* excel·lents, però també d'àcids aril acrílics, per exemple del precursor del Naproxen, un antiinflamatori no esteroïdal (AINE) molt emprat en medicina fins fa poc com a barreja racèmica, però actualment ja es fabrica l'enantiomer més efectiu (*S*) amb la tècnica de Noyori. De la mateixa manera, l'edulcorant Aspartama es manufactura utilitzant un pas d'hidrogenació asimètrica amb BINAP-Rh (vegeu l'esquema 10).



74

ESQUEMA 10

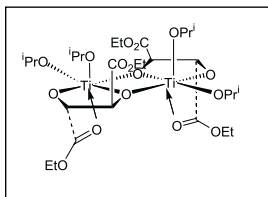
Noyori també va portar a terme una important aplicació dels complexos BINAP-Rh(I) en la isomerització asimètrica d'amines al·líliques a enamines òpticament actives (transposició sigmatròpica [1,3] d'hidrogen), que es va traduir en una síntesi en gran escala de (-)-mentol a partir de  $\beta$ -pinè (procés Takasago). El pas clau d'aquesta síntesi comercial és la isomerització de la dietilgeranilamina en citronelal (*R,E*-dietilenamina, catalitzada per  $[\text{Rh}((S)\text{-BINAP})(\text{COD})]\text{ClO}_4$  (vegeu l'esquema 11). La reacció es fa amb càrregues de nou tones de  $\beta$ -pinè i es produeixen més de 1.500 tones/any de (-)-mentol.



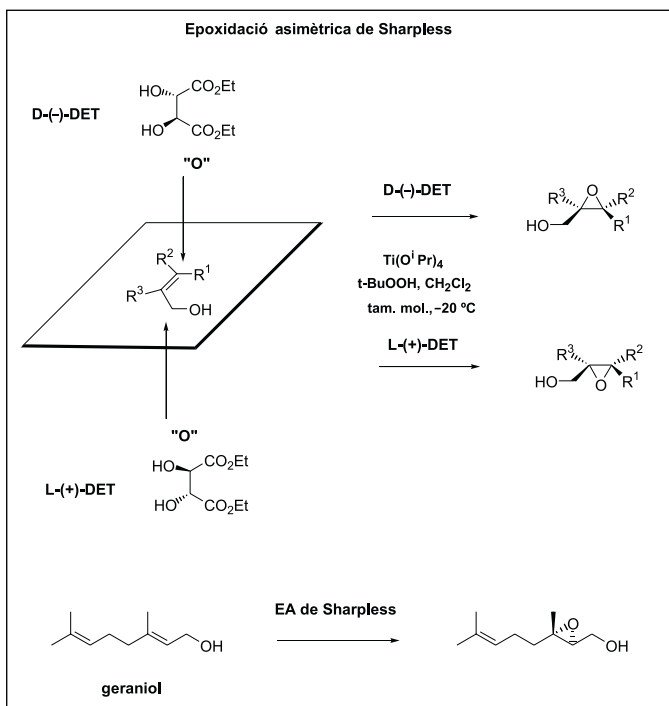
ESQUEMA 11

Des de l'any 2000 el professor Noyori, que ja ha publicat més de quatre-cents treballs científics, dirigeix el Centre de Ciència dels Materials de la Universitat de Nagoya, que està dedicat a realitzar reaccions químiques *perfectes*, amb el 100 % de rendiment i el 100 % de selectivitat, usant catalitzadors i reactius que no contaminin el medi ambient, en allò que es denomina *química verda*. La conferència que li vaig sentir a Göteborg (Suècia) l'any 1998 en l'ESOC-13 va ser paradigmàtica sobre l'ús de l'aigua oxigenada com a reactiu verd en múltiples reaccions d'oxidació.

Barry Sharpless va créixer a Filadèlfia, on la família de la seva mare, que procedia de Noruega, s'havia establert i posseïa un negoci de pesca. Es va llicenciar al Dartmouth College el 1963, però va doctorar-se a Stanford, Califòrnia, sota la supervisió d'E. E. van Tamelen, que el va animar a treballar amb els catalitzadors inorgànics i a «pescar en la taula periòdica». Posteriorment va fer estades postdoctorals a Stanford i Harvard. Van Tamelen, que tenia entre d'altres estudiants a S. Masamune, buscava el catalitzador ideal i aquesta fita va ser la guia de Sharpless durant una pila d'anys al Massachusetts Institute of Technology (MIT), del 1970 al 1977, intentant oxidar olefines de manera estereoselectiva, triant com a catalitzadors tots els elements possibles de la taula periòdica. Després de molts resultats negatius i altament desesperants, retornat a Stanford, juntament amb el seu alumne Tsutomu Katsuki va publicar el 1980 la primera oxidació enantioselectiva d'un doble enllaç C=C proquiral. Concretament es tractava de l'epoxidació d'alcohols al·lílics emprant un catalitzador de titani complexat amb (+) o (-)-tartrat de dietil i el t-butilhidroperòxid com a oxidant. (El tartrat de dietil òpticament actiu és també un lligand de simetria  $C_2$ .) Dependent de l'activitat òptica del tartrat de dietil podia obtenir un enantiòmer o altre del producte d'epoxidació. Aquest procediment és conegut amb el nom d'epoxidació asimètrica (EA) de Sharpless i ha estat àmpliament utilitzat en nombroses síntesis totals de laboratori i en diferents processos industrials. En l'esquema 12 s'observa el complex de titani coordinant amb el tartrat de dietil i els reactius, i en l'esquema 13 es mostra com actua el catalitzador de Sharpless sobre alcohols al·lílics i es pot veure la regla mnemotècnica per predir la configuració dels centres estereogènics creats.

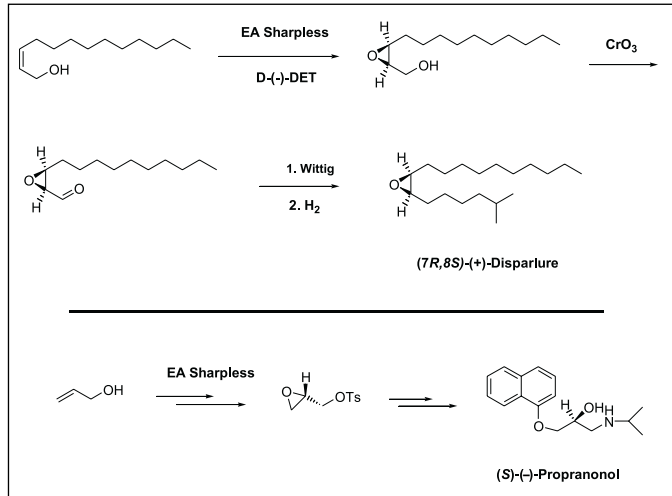


ESQUEMA 12



ESQUEMA 13

En l'esquema 14 hi ha algunes aplicacions industrials emblemàtiques d'aquesta reacció: l'obtenció de la feromona de la *Porthetria dispar* (arna que s'alimenta de les fulles de certs arbres d'ombra), (+)-disparlure, i la fabricació del fàrmac  $\beta$ -bloquejant (S)-propranolol.

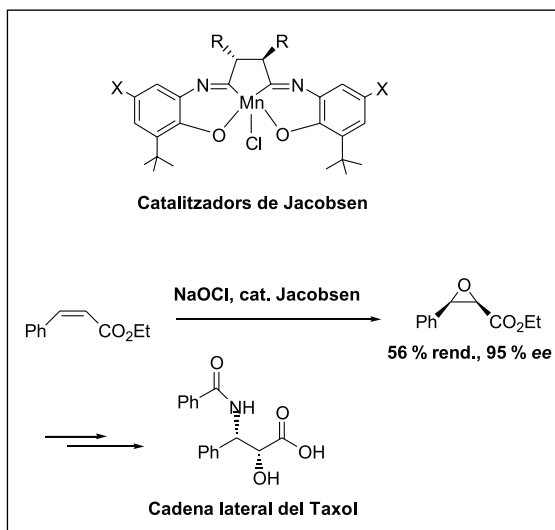


78

ESQUEMA 14

Encara que el catalitzador de titani de Sharpless tolera una gran varietat de substrats proquirals, el mètode només funciona amb, i es limita a, alcohols al·lílics, és a dir, no és aplicable a dobles enllaços aïllats. Les olefines simples no tenen el grup hidroxil per ancorar-se al catalitzador. Tanmateix, altres autors, com Jacobsen o Katsuki, han desenvolupat catalitzadors de manganès (vegeu l'esquema 15) que han millorat l'extensió del mètode a olefines no al·líliques.



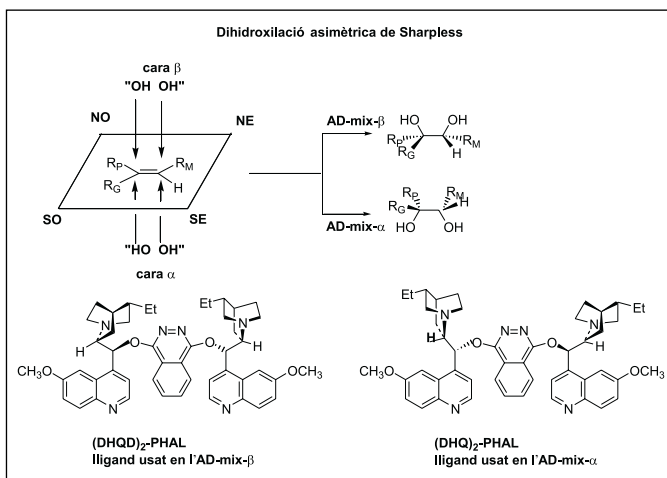


ESQUEMA 15

Amb tot, el treball de Sharpless no va acabar aquí. A més de desenvolupar resolucions cinètiques (amb T. Katsuki, però també amb un investigador canari, Victor Sotero Martín), Sharpless va sorprendre tothom amb altres procediments d'oxidació d'olefines: la introducció directa de dos grups hidroxils veïnals o dihidroxilacions asimètriques (DA) de dobles enllaços, basades en l'osmi com a metall i lligands derivats de la cincona, i aminohidroxilacions asimètriques (AA) també de dobles enllaços, emprant reactius similars.

La DA està basada en l'observació de Criegee segons la qual lligands bàsics com la piridina acceleren les dihidroxilacions promogudes pel tetròxid d'osmi. Sharpless va raonar que algunes bases quirals podrien fer el mateix paper i a la vegada promoure excessos enantiòmers. Les bases emprades per Sharpless van ser la dihidroquinina (DHQ) o el seu enantiòmer, la dihidroquinidina (DHQD), alcaloides de la

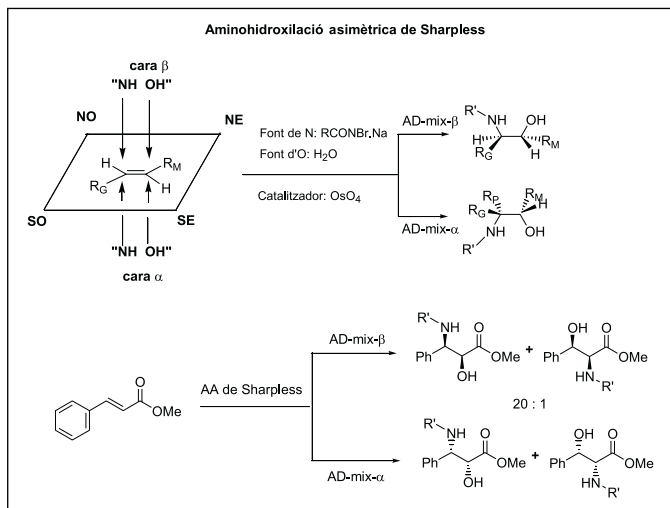
cincona, unides amb un espaiador, tipus ftalazina, per obtenir simetria  $C_2$ . I el tetròxid d'osmi va poder ser utilitzat en quantitats catalítiques si es reoxidava amb *N*-òxid d'*N*-metilmorfolina, o més ben dit, amb hexacianoferrat (III) de potassi. La reacció es porta a terme en presència d'aigua i d'alcohol *tert*-butílic. Aquests catalitzadors anomenats «AD-mix» són comercials i poden emprar-se sense cap problema. De fet, són insensibles a la humitat i a l'oxigen i, per tant, són més universals que els catalitzadors de titani. En l'esquema 16 es mostra la regla mnemotècnica per usar l'AD-mix- $\alpha$  i l'AD-mix- $\beta$ .



ESQUEMA 16

L'aminohidroxilació asimètrica (AA) implica la conversió d'un alquè substituït en un amino alcohol. El catalitzador és també el tetròxid d'osmi, els lligands quirals són els AD-mix  $\alpha$  o  $\beta$ , la font de nitrogen és normalment la cloramina T, sal sòdica de la *N*-cloro-*p*-toluensulfonamida, i, la font d'oxigen, aigua. L'esquema 17 mostra un resum d'aquesta

important reacció, encara que els *ee* no siguin excessivament elevats.



ESQUEMA 17

El treball de Sharpless ha estat impressionant, creatiu, imaginatiu i promotor de múltiples recerques al voltant de les reaccions catalítiques enantioselectives. Les reaccions que porten el seu nom han estat usades en infinitat d'ocasions, en síntesis totals acadèmiques i en síntesis industrials amb aplicació a la indústria farmacèutica, agrícola, dels perfums, etc. Ha rebut molts premis i honors (Tetrahedron Prize, ACS Award for Creative Work in Organic Synthesis i l'Arthur C. Cope Award, la Medalla Prelog, el Jansen Prize, el King Faisal International Prize for Science, el Wolf Prize, la Medalla Benjamin Franklin, etc.). Actualment és professor de química a The Scripps Research Institute (TSRI), un dels centres de recerca més prestigiosos dels Estats Units.

El professor Sharpless va ser a Barcelona dictant la Conferència Serratosa de l'any 1997. La seva dissertació sobre «Fishing in the Periodic Table» va resultar ser una discreta presentació de la seva magnífica tasca, atès que no és un conferenciant brillant. Però a la Universitat de Barcelona va impartir una conferència sobre l'aminohidroxilació asimètrica, en què es van presentar treballs recents i pioners, i aquí va ser més incisiu. Crec que ell és un exemple d'un gran investigador que, com a excepció a la regla, no va acompanyat d'una bona comunicació oral. En el cas de Sharpless he de dir que la comunicació escrita és força més bona, encara que emprant un anglès força recargolat: només cal llegir el seu últim gran treball a l'*Angewandte Chemie* d'enguany sobre el seu nou concepte de «Click Chemistry».

Resumint, encara que els tres guardonats no hagin descobert el secret de la dissimetrització de la matèria (prevalença d'uns enantiòmers sobre uns altres en l'evolució molecular terrestre fins a les molècules bioactives dels éssers vius), sí que han pogut realitzar síntesis asimètriques multiplicant la quiralitat present en els seus catalitzadors, i han pogut obtenir en aquestes síntesis, sense necessitat de costoses separacions de barreges racèmiques, excessos enantiòmers superiors al 99 %. Aquests alts rendiments han facilitat l'obtenció industrial de molècules bioactives en estat enantiòmerament pur i han rebaixat la toxicitat de molts dels productes que ingerim.

**ELS PREMIS NOBEL**

**DE L'ANY 2001**

**SOBRE EL**

**PREMI NOBEL DE FÍSICA**

**CONCEDIT A**

**ERIC A. CORNELL,**

**WOLFGANG KETTERLE**

**I CARL E. WIEMAN,**

**A CÀRREC DE**

**RAMON VILASECA ALAVEDRA,**

**CATEDRÀTIC DE FÍSICA APLICADA**

**DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA**

**DE CATALUNYA**

## INTRODUCCIÓ. ELS INVESTIGADORS PREMIATS

El Premi Nobel de Física de l'any 2001 ha estat atorgat als tres investigadors següents (per ordre alfabètic):

— Eric A. Cornell. Laboratoris JILA (Joint Institute for Laboratory Astrophysics) i NIST (National Institute of Standards and Technology) i Universitat de Colorado, a Boulder (Colorado, EUA). Nascut el 1961 a Palo Alto (Califòrnia), i doctor en física pel MIT (Massachusetts Institute of Technology) l'any 1990.

— Wolfgang Ketterle. MIT (Massachusetts Institute of Technology). Nascut el 1957 a Heidelberg (Alemanya), i doctor en física per la Universitat de Munich i el Max-Planck-Institut für Quantenoptik (Garching-Munich) l'any 1986.

— Carl E. Wieman. Laboratori JILA (Joint Institute for Laboratory Astrophysics) i Universitat de Colorado, a Boulder (Colorado, EUA). Nascut el 1951 a Oregon (EUA), i doctor en física per la Universitat de Stanford (EUA) l'any 1977.

84

El Premi Nobel els ha estat concedit, oficialment, «per haver assolit la condensació de Bose-Einstein en gasos diluïts d'àtoms alcalins, i per estudis fonamentals pioners de les propietats dels condensats».

Per tant, per poder descriure el tipus de treball de recerca que han efectuat aquests investigadors, haurem de recordar, en primer lloc, què significa el concepte de «condensació de Bose-Einstein».

## LA CONDENSACIÓ DE BOSE-EINSTEIN

Com és actualment ben sabut en física, les partícules (ententent com a tals no sols els constituents més elementals de la

matèria, sinó també altres de més complexos, com ara els àtoms) que constitueixen l'Univers es divideixen en «bosons» i «fermions», segons que la funció d'ona quàntica que descriu un conjunt de tals partícules idèntiques sigui simètrica o antisimètrica respecte de l'intercanvi de dues partícules qualssevol. Les partícules amb espín enter (com ara un àtom amb un nombre total parell de protons, neutrons i electrons) es comporten com a bosons, mentre que les partícules amb espín semienter (com ara l'electró) es comporten com a fermions. Una de les propietats més espectaculars que es dedueix d'aquest fet bàsic és que dos fermions no poden trobar-se mai en el mateix estat quàntic, mentre que dos bosons (o més) sí que poden fer-ho.

Aquesta propietat va ser estudiada amb detall, cap al 1924, per Satyendra N. Bose (en honor del qual prové el nom de *bosons*) i Albert Einstein. Aquests investigadors varen estudiar la distribució estadística de partícules idèntiques ideals (en el sentit que no interaccionen entre si) que formen un gas a una determinada temperatura (un *gas de Bose*). En primer lloc, varen establir la fórmula que ens dóna el nombre de partícules  $n(E)$  que, en un estat d'equilibri, es troben en un determinat estat quàntic d'energia  $E$  [1]:

85

$$n(E) = \frac{1}{e^{(E-\mu)/k_B T} - 1}, \quad (1)$$

on  $\mu$  representa el potencial químic (el qual depèn del nombre total de partícules),  $k_B$  la constant de Boltzmann i  $T$ , la temperatura absoluta. Aquests estats d'energia poden correspondre, per exemple, als estats quàntics possibles de les partícules com a resultat d'un potencial extern que actua sobre elles. La fórmula (1) ens indica que les partícules tenen tendència a acumular-se en els estats d'energia més baixa. I,

en segon lloc, es varen adonar que, per a temperatures molt baixes (on  $\mu$  pren valors lleugerament negatius i tendeix cap a zero quan  $T$  tendeix cap a zero), quan es decreix progressivament la temperatura, la brutal acumulació de partícules en l'estat més baix d'energia produeix, a partir d'una certa temperatura, una veritable «transició de fase», a partir de la qual les propietats del sistema comencen a canviar a un ritme diferent. És el que es coneix com *condensació de Bose-Einstein* (BEC en anglès, CBE en català) [1].

Podem assenyalar algunes de les propietats de la condensació de Bose-Einstein [1]. Serà útil fer una comparació amb la ben coneguda condensació gas  $\rightarrow$  líquid (que també té lloc quan disminueix la temperatura). Així com en la condensació gas  $\rightarrow$  líquid el sistema se separa espacialment en dues fases (comença a aparèixer una fase de líquid al fons del recipient, figura 1a), en la CBE també apareixen dues fases: mentre les partícules amb energia superior a la mínima segueixen en la fase de gas normal, les que han baixat a l'estat de mínima energia passen a estar descrites per una única funció d'ona quàntica. És com si les partícules «sincronitzessin» o acolessin el seu estat dinàmic, de manera que evolucionessin en bloc (semblant, posats a cercar comparacions, als soldats quan evolucionen en formació ordenada). Això ens duu a recordar, d'una banda, que les partícules idèntiques són fonamentalment indiscernibles entre si, i que, d'altra banda, qualsevol partícula ve descrita per una funció d'ona quàntica (la qual té un aspecte similar al d'una ona o un petit paquet d'ones), on la «longitud d'ona» (coneguda com *longitud d'ona associada de De Broglie*),  $\lambda_{DB}$ , ve donada per:

$$\lambda_{DB} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}, \quad (2)$$



on  $h$  és la constant de Planck i  $p$ ,  $m$  i  $v$  representen la quantitat de moviment, massa i velocitat de la partícula, respectivament. Si, com a velocitat, hi assignem la velocitat més probable que té una partícula en un gas a temperatura  $T$ ,  $v = \sqrt{2k_B T/m}$ , llavors resulta que la  $\lambda_{DB}$  pren valors molt petits a temperatura ordinària ( $\lambda_{DB} \sim 10^{-2}$  nm), però pren valors relativament grans a temperatures properes a 0 K ( $\lambda_{DB} \geq 2 \mu\text{m}$  per a  $T \leq 100$  nK). Doncs bé, la CBE té lloc quan, en refredar, la  $\lambda_{DB}$  s'ha fet tan gran que les ones associades a partícules veïnes solapen suficientment per a poder «acoblar-se». Dit d'una altra manera, quan la  $\lambda_{DB}$  s'ha fet tan gran com la separació entre partícules veïnes, o, més exactament, quan el nombre de partícules en un volum  $(\lambda_{DB})^3$  es fa igual a 2.612, és quan comença la CBE. Aquest criteri ens defineix una temperatura crítica  $T_C$ , per sota de la qual té lloc la CBE (figura 2).

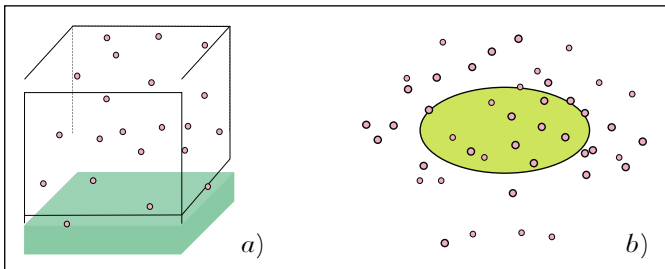


FIGURA 1. a) Condensació gas  $\rightarrow$  líquid; b) Condensació de Bose-Einstein, en el cas d'àtoms. La fase condensada és la de color uniforme. La resta d'àtoms resten a la fase de gas normal, i es mouen independentment.

Ara bé, a diferència de la condensació gas  $\rightarrow$  líquid, en la qual la separació en dues fases té lloc en l'espai real, en la CBE la separació de fases té lloc, en principi, en l'espai de les velocitats —o moments—, ja que l'energia està relacionada amb la velocitat de les partícules, independentment de la

posició d'aquestes a l'espai real. Les partícules amb velocitat mínima formen el condensat, mentre que la resta de partícules romanen en la fase de gas normal. Ara bé, si les partícules estan sotmeses a un potencial extern que, per exemple, les atragui cap un punt central, llavors la fase condensada també es pot separar, en l'espai real, de la fase no condensada, i concentrar-se al voltant del punt central (aquest és el cas, com veurem, per als condensats formats amb àtoms; figura 1b).

88

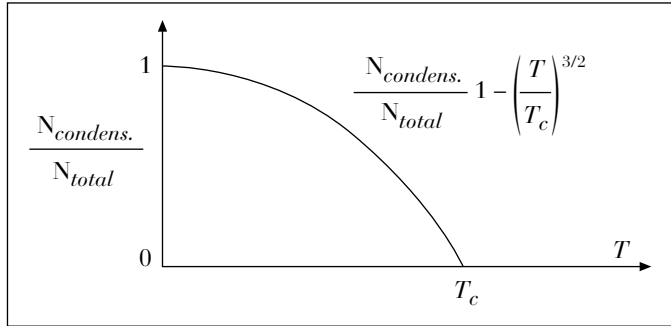


FIGURA 2. Aparició de la fase condensada per sota d'una temperatura crítica  $T_c$ .

Una darrera propietat que podem mencionar és que, per sota de  $T_c$ , si s'anessin afegint partícules al sistema (sense variar-ne la temperatura), aquestes passarien a engrossir la fase condensada, de la mateixa manera que ho farien en la condensació gas  $\rightarrow$  líquid (ja que en aquesta la pressió de vapor roman constant).

La CBE ja es va aconseguir, en el passat, en el  $^4\text{He}$  superfluid, en la superconductivitat i en excitons en semiconductors. El problema és que en aquests sistemes la CBE es presenta juntament amb altres fenòmens que emmascaren la condensació, la qual cosa fa que les propietats del sistema

siguin molt diferents de les del gas de Bose ideal. Per exemple, en el cas del  $^4\text{He}$  superfluid, la interacció entre les partícules és bastant forta, mentre que en els seus estudis, Bose i Einstein varen considerar un gas ideal on la interacció entre partícules és nul·la. Per aquest motiu la CBE d'àtoms, on la interacció entre àtoms és feble i, per tant, es pot considerar, en principi, com una petita pertorbació, ha tingut tanta transcendència científica.

En els apartats següents estudiem com s'ha aconseguit la CBE d'àtoms.

## EL REFREDAMENT I ATRAPAMENT D'ÀTOMS

Des de finals del segle XIX, els científics s'han preocupat de l'estudi i control dels àtoms. Si n'excloem l'estudi del nucli atòmic, l'esforç s'ha dirigit en dues direccions principals:

- a) estudi dels estats electrònics
- b) estudi del moviment de l'àtom (moviment del seu centre de masses).

L'estudi dels estats electrònics (a) és el primer que es va desenvolupar, i encara avui dia s'hi està dedicant una atenció important. Aquest estudi s'ha dut a terme sobretot per mètodes òptics (és a dir, amb llum), complementat en alguns casos mitjançant camps magnètics o elèctrics. L'*espectroscòpia* es dedica a la mesura amb altíssima resolució de les energies dels salts o transicions electròniques entre estats estacionaris dels electrons. Com a exemple, enguany, mitjançant una tècnica làser, s'ha aconseguit mesurar l'energia (o, més exactament, la freqüència  $\nu$ ) de la transició 1s-2s de l'àtom d'hidrogen amb una precisió d'unes desenes d'Hz!, la qual correspon a una resolució  $\nu/\Delta\nu$  superior a  $10^{14}$ ! Tot això

permet efectuar tests altament precisos de les teories quàntiques i relativistes actuals, i aviat permetrà fins i tot fer tests de les teories cosmològiques. Al mateix temps, permet establir «rellotges atòmics», dissenyar làsers, «incrementar» o reduir la velocitat de la llum, generar fenòmens òptics no lineals, generar llum en estats quàntics especials, etc.

En canvi, l'estudi del moviment del centre de masses de l'àtom (*b*) no s'ha iniciat sinó des de fa uns quants anys, atès que no s'havia trobat una tècnica que permetés un control prou precís d'aquest moviment. Aquesta tècnica consisteix, bàsicament, en la combinació entre l'acció de la llum làser, la qual permet el refredament dels àtoms, i l'acció de camps magnètics, els quals permeten l'atrapament dels àtoms. De fet, el camí que ha dut, utilitzant aquestes tècniques, cap a la CBE d'àtoms el van iniciar, entre altres, els premis Nobel de 1997: S. Chu, C. Cohen-Tannoudji i W. D. Phillips, els quals varen aconseguir mantenir un petit núvol d'àtoms (entorn de  $10^2$ - $10^5$  àtoms, segons el cas) a temperatures properes al nanokelvin (recordem que  $1 \text{ nK} \dots 10^{-9} \text{ K}$ )!

L'acció de la llum làser es basa en la pressió de radiació que exerceix una ona electromagnètica sobre una partícula material amb la qual està interaccionant. Si la freqüència de l'ona és ressonant amb una transició atòmica entre dos nivells energètics electrònics determinats, llavors per cada fotó que l'àtom absorbeixi (fig. 3), aquest rebrà un impuls de retrocés  $\Delta p$  que serà igual al moment lineal del fotó  $p_{\text{fotó}}$ , és a dir:  $\Delta p = p_{\text{fotó}} = h/\lambda$ , el qual, per exemple per a la llum vermella (o de l'infraroig proper) dels díodes làser que s'utilitzen avui dia per a aquests tipus d'experiments, pren un valor de  $10^{-27} \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Aquesta quantitat és deu mil vegades inferior als  $10^{-23} \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  que, per mitjana, corresponen a l'impuls d'un àtom de Na que es mogui en un gas a 300 K (figura 3). Per tant, l'absorció d'un fotó per part d'un àtom «calent» canvia relativament poc el moment lineal d'aquest.

Ara bé, si tenim en compte que un mateix àtom, i en una determinada transició atòmica, pot absorbir entorn de  $10^6$ - $10^8$  fotons/s (atès que, una vegada l'electró ha absorbit un fotó i ha pujat a un nivell de més energia, l'electró torna a caure ràpidament al nivell inferior per emissió espontània —emissió d'un altre fotó en qualsevol direcció—, tornant doncs a estar disponible per a reabsorbir un fotó posterior del feix de llum làser), llavors resulta que, en molt menys d'un segon, l'àtom podria quedar parat del tot! De fet, l'àtom no queda parat del tot, ja que cada vegada que l'electró decau per emissió espontània, l'àtom en bloc adquireix una petita energia de retrocés en una direcció arbitrària, per la qual cosa els àtoms mantenen una petita energia cinètica residual. Aquest simple mètode (oposar un feix de llum làser a un *feix atòmic*, per frenar els àtoms i deixar-los solament amb un petit moviment residual) ens proporciona, en la majoria dels casos que s'estudien actualment, el primer pas per a refredar els àtoms.

91

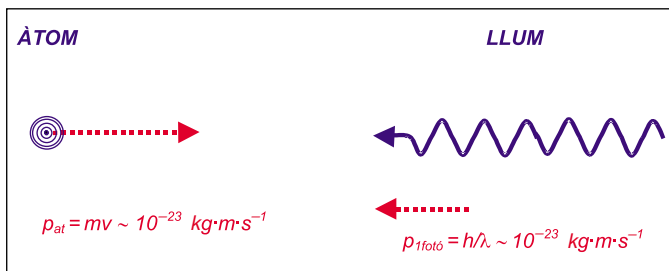


FIGURA 3. Interacció entre un àtom i una ona electromagnètica. Comparació entre els seus moments lineals, considerant un àtom de Na d'un gas a temperatura ordinària, i un fotó d'un feix de llum làser vermella.

El segon pas per al refredament d'àtoms consisteix a utilitzar la mateixa idea, però sofisticant la distribució espacial dels feixos de llum làser: els premis Nobel de 1997 abans mencionats varen utilitzar el que se'n diu *melasses*

*òptiques* (figura 4): sis feixos de llum, de la mateixa freqüència (en principi generats per un mateix làser de semiconductor, molt estabilitzat en freqüència), irradien un petit volum al centre del recipient (volum en el qual es troben els àtoms que acabem de frenar pel mètode anterior) dirigits en els sis sentits definits per les direccions cartesianes de l'espai. La freqüència de la llum és lleugerament inferior a la d'una determinada transició electrònica dels àtoms en qüestió, de manera que si un àtom es mou en direcció oposada a un dels feixos de llum, podrà absorbir un fotó d'aquest feix (ja que, per efecte Doppler, «veurà» el feix de llum com si tingués una freqüència superior a la que nominalment té) i rebrà el corresponent impuls de retrocés que el frenarà, mentre que no podrà absorbir cap fotó de cap dels altres feixos de llum. Així, és com si els àtoms anessin patint un «fregament» continu amb la llum (efecte melassa òptica), el qual en va reduint la velocitat, de manera que el gas va disminuint la temperatura.

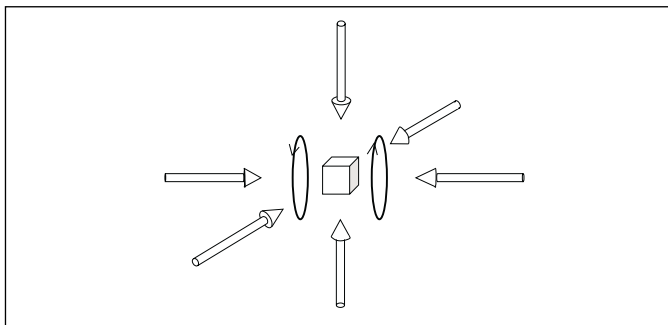


FIGURA 4. *Melasses òptiques formades per sis feixos de llum làser, per al refredament d'àtoms. Bobines magnètiques en posició «anti-Helmholtz» que generen un camp magnètic dirigit cap al centre, per a l'atrapament-confinament dels àtoms. El conjunt defineix una «trampa magneto-òptica».*

Aquest refredament, per ell sol, no impediria que els àtoms s'anessin desplaçant, a poc a poc, i escampant-se per l'espai adjacent, escapant-se de les melasses òptiques. Cal, doncs, complementar aquest refredament amb un «atrapament», o confinament, dels àtoms, que els impedeixi sortir d'una determinada zona de l'espai. I és aquí on intervenen els camps magnètics. Les dues bobines en configuració «anti-Helmholtz» de la figura 4 (el corrent elèctric circula en sentit oposat en cada una d'elles) creen en l'espai un gradient de camp magnètic radial, amb un mínim de camp magnètic en el centre del recipient (s'han de disposar també bobines menys potents, que compensin de manera força precisa el camp magnètic terrestre). Aquest camp magnètic no uniforme desplaça lleugerament, per efecte Zeeman, els subnivells hiperfins dels àtoms, i modifica la freqüència de les transicions atòmiques segons la posició de l'àtom a l'espai. Això fa que els àtoms, en allunyar-se a poc a poc del centre, quan arriben a una certa distància (la qual determinarà la «frontera» del domini d'atrapament), absorbeixin un fotó d'un dels feixos làser i sofreixin un retrocés que els farà retornar cap al centre del domini (cal usar feixos de llum polaritzada circular, per a aquesta finalitat). El conjunt de les melasses òptiques i les bobines magnètiques defineix una *trampa magnetoòptica*, la qual, complementada amb altres tècniques enginyoses per a refredar encara més, va permetre als premis Nobel de 1997 assolir temperatures molt baixes (inferiors fins i tot a la temperatura residual d'agitació deguda al retrocés que sofreixen els àtoms cada vegada que experimenten un procés d'emissió espontània!), entorn del  $\mu\text{K}$  o per sota d'aquesta dada, i que en el cas de confinament, únicament en una dimensió van arribar fins a 0,1 nK!

El que han fet els premis Nobel de 2001 ha estat partir d'aquesta experiència anterior, i retocar-la per assolir la CBE. El problema de les investigacions anteriorment descrites, amb vista a assolir la CBE, és que els investigadors no havien tingut, com a fita primordial, aconseguir densitats atòmiques  $n$  suficientment elevades. Per tant, no es podia verificar la condició necessària  $n \cdot (\lambda_{DB})^3 \geq 2.612$  abans indicada.

Llavors, els premis Nobel de 2001 varen introduir les modificacions següents en l'esquema de refredament-atrapament de la trampa magnetoòptica anterior:

a) Després de ser refredats i atrapats a la manera «tradicional» indicada (o per alguna de les seves variants), els àtoms es preparen per a ser concentrats en un volum més petit, mitjançant una força magnètica apropiada. Per a aquesta fi, d'una banda es «bombegen» els àtoms a un determinat subnivell magnètic que implica que tots tenen el seu moment magnètic alineat en una determinada direcció. Aquest «bombeig òptic» es pot fer mitjançant llum làser polaritzada, tal com va idear A. Kastler (Premi Nobel de 1966). I, d'altra banda, es modifica la distribució de camp magnètic, fent-lo més potent i amb un gradient més gran, de manera que adquireixi una distribució espacial quadrupolar (amb canvis de  $\sim 10^2$  G/cm i «curvatures» de  $\sim 10^2$  G/cm<sup>2</sup> dins la zona de confinament dels àtoms) amb un mínim de camp al centre. D'aquesta manera, cada àtom, en trobar-se sotmès a un gradient de camp magnètic, es comporta com un petit imant, i sofreix una força que el fa moure cap a la zona d'intensitat magnètica menor (el moment magnètic atòmic ha de ser antiparal·lel amb el camp magnètic). És a dir, es desplaça cap al centre de la zona de



confinament. Com a resultat, la concentració atòmica augmenta. Es pot considerar que els àtoms es troben sotmesos a un potencial central atractiu de tipus aproximadament harmònic (si bé s'hi afegeix un petit camp magnètic transversal uniforme i rotatiu —d'1 Gauss—), de manera que el punt amb camp magnètic zero vagi movent-se contínuament, impedint així que cap àtom estigui massa estona en l'esmentat punt, on podria perdre la seva orientació magnètica). Quan els àtoms ja estan sotmesos a aquests camps magnètics, es poden interrompre els sis feixos de llum làser (de fet, actualment els àtoms, una vegada refredats, es canvien de lloc abans de ser sotmesos a aquest camp magnètic de confinament i compressió).

*b)* Aquesta acumulació dels àtoms no és encara suficient. Cal, a més, disminuir la temperatura fins a valors neta-ment més baixos. Per a tal fi es posa en marxa un procediment de «refredament evaporatiu». Aquest refredament és el mateix que fa que el cafè o la sopa es refredin: les molècules més energètiques del cafè o la sopa són les que «s'evaporen», és a dir, les que s'escapen del líquid, enduent-se una quantitat d'energia important, superior a la mitjana d'energia per partícula. El resultat és que l'energia mitjana de les molècules que resten en el cafè o la sopa disminueix, la qual cosa significa que la temperatura disminueix. Traduït al cas dels àtoms, el que es fa és deixar escapar també els àtoms més energètics, durant intervals de temps molt breus (d'uns quants mil·lisegons), de la trampa magnètica. Aquests intervals es repeteixen moltes vegades. El temps entre cada interval d'evaporació ha de ser prou llarg per a donar temps als àtoms que resten a la trampa perquè, a través de col·lisions elàstiques, es vagin redistribuint l'energia cinètica entre ells (el fet d'haver augmentat la concentració del gas és crucial per a permetre que els àtoms sofreixin el nombre suficient de col·lisions elàstiques per a aquesta fi).

La manera com es procedeix per deixar escapar els àtoms més «calents» consisteix a canviar bruscament l'orientació del moment magnètic d'aquests àtoms, mitjançant un pols de radiofreqüència que traspassa la població atòmica des del subnivell magnètic ocupat fins a un altre subnivell. Llavors, la trampa magnètica ja no actua sobre aquests àtoms, i es poden escapar. La manera com aquest mètode permet actuar selectivament sobre els àtoms més energètics, sense pertorbar els altres, es basa en el fet que aquests àtoms més energètics seran els únics que visitaran, en el seu moviment, les parts més exteriors de la zona de confinament, i, quan es trobin en aquestes parts més exteriors, els seus subnivells estaran més separats entre si (per l'efecte Zeeman) que en el cas dels altres àtoms que es troben en altres situacions espacials, amb menys camp magnètic. Per tant, el camp de radiofreqüència es podrà ajustar a la separació Zeeman que correspongui als subnivells dels àtoms més energètics, i consegüentment seran els únics afectats per la radiofreqüència i els únics que es podran escapar de la trampa.

Finalment, després de la «compressió» per camp magnètic i d'una successió de refredaments evaporatius, els premis Nobel actuals varen aconseguir, al 1995, incrementar prou la concentració atòmica i, al mateix temps, disminuir suficientment la temperatura del gas perquè es verificués la condició  $n \cdot (\lambda_{DB})^3 \geq 2.612$ , que dóna lloc a la CBE. El procés de refredament-atrapament inicial dura uns quants minuts, i el procés de confinament-compressió i refredament evaporatiu dura un temps característic, que sol ser d'un minut. El condensat format dura poc temps, només unes poques desenes de segons, atès que el condensat és en si mateix un estat metastable: d'una banda, està una mica afectat pel bombardeig per part dels àtoms que no estan en la fase condensada, i, d'altra banda, l'existència, encara que en una proporció molt petita, de col·lisions inelàstiques pot dur els àtoms a

altres estats que no quedin atrapats (fins i tot hi pot haver col·lisions a tres cossos, que farien que el condensat pogués degenerar de mica en mica cap a una fase líquida ordinària).

La figura 5 mostra la primera CBE aconseguida en el món, pels premis Nobel Cornell i Wieman (i col·laboradors), l'any 1995, amb àtoms de  $^{87}\text{Rb}$  [2]. Tal com s'indica en el peu de figura, la distribució de velocitats mostra, en els gràfics 2 i 3, una forta acumulació d'àtoms al voltant de la velocitat zero. Aquests àtoms són els que formen el condensat (són els de mínima energia), mentre que la resta d'àtoms, amb una distribució de velocitats més àmplia, formen la fase de gas normal. En el tercer gràfic (el de la dreta) es pot observar que la fase normal (que era dominant abans que es formés el condensat) ha quedat fortament reduïda. La fase condensada es forma al centre de la zona de confinament del gas. Les seves dimensions són tan petites (es mesuren en micres), que era impossible fer-ne una «fotografia» directa. Va caldre deixar expandir el sistema gasós lliurement (cancel·lant el camp magnètic de confinament) durant mil·lisegons perquè el condensat prengués unes dimensions de dècims de mil·límetre i pogués ser fotografiat amb una càmera CCD (prèvia il·luminació amb un pols de llum làser de freqüència apropiada, la qual pot ser absorbida pels àtoms i, per tant, provocar un contrast òptic en cada punt proporcional a la concentració d'àtoms en el mateix). En la figura 5, els requadres mostren aquestes fotografies, en les quals també es distingeixen clarament la fase condensada i la fase normal. Cal advertir que, a causa de la seva expansió adiabàtica, el condensat abaixa la seva densitat, però també abaixa la seva temperatura (en aquests primers experiments la temperatura inicial del condensat era de 170 nK, mentre que la final —en el moment d'enregistrar la figura 5— era d'uns 20 nK), i una cosa compensa l'altra. És clar que, per causa de l'expansió i la il·luminació per al registre, el condensat acaba finalment destruint-

se. Atès que l'expansió lliure del condensat amplia fortament les dimensions del sistema gasós, les fotografies de la figura 5 representen no sols un mapa de posicions, sinó també de velocitats dels àtoms, ja que el desplaçament de cada àtom des de la posició que ocupava abans de l'expansió lliure del sistema gasós és aproximadament proporcional a la seva velocitat. El nombre total d'àtoms en la fase condensada, en aquest primer experiment, va ser d'uns dos mil, i la concentració d'àtoms, entorn de  $10^{14} \text{ cm}^3$ .

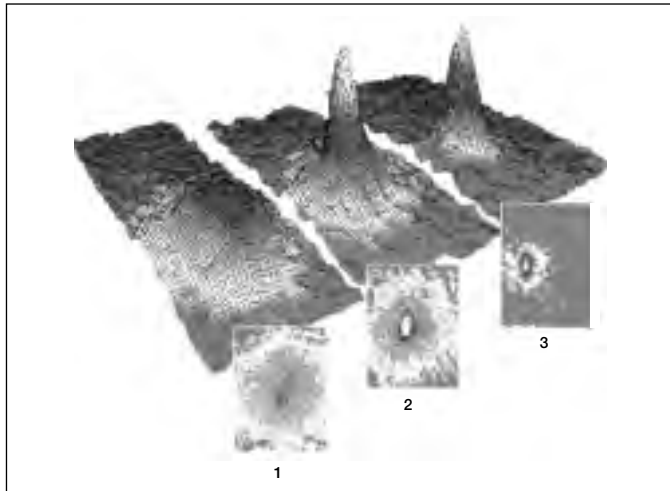


FIGURA 5. *Primera condensació de Bose-Einstein aconseguida en el món, per Cornell i Wieman (i col·laboradors). Els tres gràfics tridimensionals, d'esquerra a dreta, mostren la distribució de velocitats en el condensat (els eixos horitzontals són  $v_x$  i  $v_y$ ), just abans que es formés el condensat, a l'inici del mateix, i una vegada ja ben format. Els requadres mostren una «foto» del condensat (després de deixar-lo expandir lliurement durant uns quants mil·lisegons). Tant als gràfics com a les fotografies, es poden distingir les fases condensada (la qual correspon a un total d'uns milers d'àtoms a una temperatura de 20 nK), i de gas normal al seu voltant [2].*

Després dels experiments de Cornell i Wieman, Ketterle també va publicar, el mateix any, resultats experimentals de CBE en  $^{23}\text{Na}$  [8] (la figura 6 mostra resultats obtinguts per Ketterle en un dels seus treballs), i en els pocs anys que han transcorregut des de llavors fins ara s'ha aconseguit la CBE ja en unes desenes de laboratoris del món, malgrat el cost i la complicació experimental d'aquestes investigacions. Aquests experiments s'han centrat en les espècies d'àtoms que s'assenyalen en la taula 1 (en alguns dels casos s'indica també la referència dels primers investigadors que ho han aconseguit, així com el nombre total d'àtoms del condensat assolit i la seva temperatura).

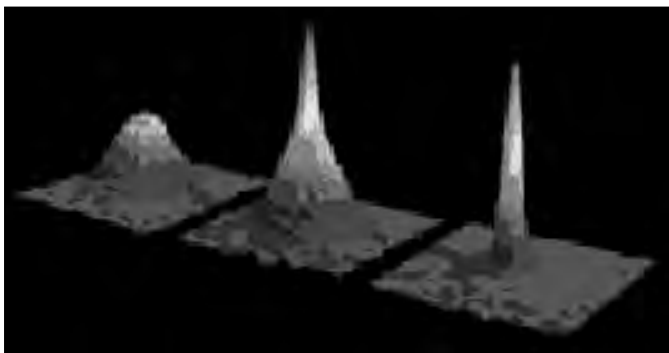


FIGURA 6. *Figura similar a l'anterior, però referida a la CBE aconseguida per Ketterle i col·laboradors, en  $^{23}\text{Na}$ . S'aprecia l'elevat grau de condensació de la velocitat atòmica aconseguit [8-13].*

Cal assenyalar el mèrit de D. Kleppner (del MIT), el qual, de fet, va intentar en primer lloc la CBE, en un gas de  $^1\text{H}$ . Però en l'hidrogen és més difícil, ja que la redistribució de l'energia entre els àtoms que resten en el condensat després de cada procés de refredament evaporatiu, a través de les col·lisions, és més lent que en els àtoms alcalins (i a més hi ha més col·lisions inelàstiques; en particular, recombinació d'àtoms per formar molècules).

<sup>87</sup> Rb:	M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, <i>C. E. Wieman, E. A. Cornell: Science</i> , núm. 269 (1995), p. 198 [2.000 àtoms, $T = 20$ nK]
<sup>7</sup> Li:	C. C. Bradley, C. A. Sackett, J. J. Tollett, R. G. Hulet: <i>Phys. Rev. Lett.</i> , núm. 75 (1995), p. 1687
<sup>23</sup> Na:	K. B. Davis, M. O. Mewes, M. R. Andrews, N. J. van Druten, D. S. Durfee, D. M. Kurn, i <i>W. Ketterle: Phys. Rev. Lett.</i> , núm. 75 (1995), p. 3969 [500.000 àtoms]
<sup>1</sup> H:	D. G. Fried, T. C. Killian, L. Willmann, D. Landhuis, S. C. Moss, D. Kleppner, T. J. Greytak: <i>Phys. Rev. Lett.</i> , núm. 81 (1998), p. 3811
<sup>85</sup> Rb:	S. L. Cornish, N. R. Claussen, J. L. Roberts, <i>E. A. Cornell, C. E. Wieman: Phys. Rev. Lett.</i> , núm. 85 (2000), p. 1795
<sup>4</sup> He (metastable):	(S'ha aconseguit enguany)
<sup>41</sup> K:	(S'ha aconseguit enguany)

TAULA 1. *Espècies d'àtoms en les quals s'ha aconseguit la condensació de Bose-Einstein, fins ara.*

No obstant això, les investigacions de Kleppner van ser molt útils als altres investigadors, en particular als premis Nobel. D'altra banda, cal remarcar que la CBE sols es pot presentar en àtoms bosònics, la qual cosa significa que el nombre total de constituents (protons, neutrons i electrons, tots d'espín 1/2) ha de ser parell. Per exemple, no es presentaria en un gas de <sup>3</sup>He, ja que aquest està format per àtoms fermiònics. No obstant aquest fet, avui dia s'està començant a estudiar el comportament d'un gas fermiònic a temperatures molt baixes, per al qual es preveuen diferències, però també similituds, respecte al cas dels gasos bosònics.

Des del 1995 fins ara, els investigadors, a més d'obtenir els condensats d'àtoms, han començat també a estudiar, teòricament i experimentalment, les seves propietats. En els dos apartats següents comentem breument quines han estat les contribucions dels tres premis Nobel a les investigacions sobre condensats de Bose-Einstein, en aquests anys.

De manera resumida, i no exhaustiva, els premis Nobel Cornell i Wieman han efectuat, des del 1995, les contribucions següents:

- Primera observació de CBE en el món, en  $^{87}\text{Rb}$ . Condensats de  $\sim 10^4$  àtoms (figura 5).
- Primera observació de CBE en  $^{85}\text{Rb}$ .
- Estudi d'excitacions col·lectives en condensats, i influència de la temperatura.
- Estudi de condensats formats per dues espècies d'àtoms, o per àtoms en dos estats diferents.
- Formació de vòrtexs en condensats de dues espècies d'àtoms.

*Estudi de la seva «coherència»*

- Contribució a l'estudi d'efectes no lineals en condensats, deguts a la interacció entre els àtoms (en particular, *four-wave mixing*).
- Estudi dels col·lapses i reexpansions dels condensats amb *longituds de scattering* negatives. *Bose-novas*.
- Decaïment de «solitons foscos» en vòrtexs tipus anell.

Referències relacionades amb aquests treballs són les [2-7]. Per entendre alguns dels conceptes indicats en la llista anterior hem d'assenyalar que, des d'un punt de vista teòric, els condensats de Bose-Einstein d'àtoms se solen descriure, en la teoria del camp mitjà, amb una funció complexa o «paràmetre d'ordre» (relacionada amb la funció d'ona)

$\phi(\vec{r}, t) = \sqrt{n(\vec{r}, t)} e^{iS(\vec{r}, t)}$  (on  $n$  és la densitat de matèria i  $s$  la fase), la qual obeeix a una «equació de Schrödinger no lineal» (o de Gross-Pitaevskii):

$$i\hbar \frac{\partial \phi}{\partial t} = \left( \frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V_{ext}(r) + g|\phi|^2 \right) \phi, \quad (3)$$

on el primer terme representa l'energia cinètica,  $V_{ext}(r)$  és el potencial extern de confinament i el darrer terme representa una pertorbació no lineal que prové de la interacció entre les partícules ( $g$  és proporcional a la denominada *longitud de scattering*). Aquesta equació presenta certes propietats:

— d'una banda, admet l'existència de vòrtexs. Un vòrtex és una singularitat en la distribució material. La funció  $\phi$  que descriu el condensat pot prendre, en algun punt, un valor nul de la seva amplitud (i la fase, òbviament, queda indefinida), la qual cosa significa absència de matèria en aquell punt. Al llarg de qualsevol línia tancada que envolti el punt, la fase varia en  $+2\pi$  o  $-2\pi$  (o en un múltiple seu), la qual cosa implica que la circulació de la velocitat està quantitzada. Doncs bé, tant Cornell i Wieman com, com veurem, sobretot Ketterle, s'han dedicat a provocar l'aparició de vòrtexs en un condensat i a estudiar-ne la dinàmica (vegeu la figura 9 més endavant).

— d'altra banda, l'equació (3) és formalment equivalent a l'equació que descriu el comportament d'una ona de llum en un medi material que presenti una no-linealitat òptica de tipus Kerr (per exemple, un medi on l'índex de refracció sofreixi, en cada punt, variacions proporcionals a la intensitat de la llum en el punt; és el que succeeix, per exemple, en el vidre de les fibres òptiques). Per tant, en el condensat es poden presentar fenòmens similars als que es pre-



senten en aquests tipus de medis materials, amb la diferència que, en comptes d'afectar ones lluminoses que es propaguin pel material, afectaran les *ones de matèria* que es generin en el si del condensat, com a pertorbació o excitació del mateix. Cornell i Wieman han estudiat algun d'aquests efectes, com ara la *barreja de quatre ones* (*four-wave mixing*).

Finalment, Cornell i Wieman han estudiat un altre efecte no previst per a un condensat ideal, el qual és degut a la petita interacció que existeix entre els àtoms. En algunes espècies atòmiques, com ara el Li o el Rb, per a les quals la longitud de *scattering* és negativa, aquesta interacció entre els àtoms produeix col·lapses i re-expansions del condensat. És un fenomen semblant al que té lloc en els estels: a causa de l'atracció gravitatòria entre les seves partícules materials, un estel pot sofrir un col·lapse (contracció brusca), el qual va seguit d'una expansió produïda per l'aproximació tan forta entre les partícules, que augmenta la seva interacció. En el cas dels condensats d'àtoms, aquests processos de col·lapse i reexpansió són cíclics, n'hi pot haver molts de seguits, i en cada expansió es pot perdre una mica de matèria (la que surt a més velocitat). Les expansions, Cornell i Wieman les han anomenat *Bosenovas* [7b], per la seva similitud amb les supernoves. D'altra banda, mitjançant camps magnètics es pot modificar el valor de la longitud de *scattering* en el Rb i, per tant, es pot influir sobre la seva dinàmica de col·lapses i expansions.

103

#### INVESTIGACIONS DE KETTERLE

També de manera resumida i no exhaustiva, indiquem les contribucions a l'estudi dels condensats de Bose-Einstein efectuades pel Premi Nobel Ketterle. Des del nostre punt de vista, Ketterle, si bé no va ser el primer investigador d'assolir la CBE (el seu treball es va publicar uns quants mesos des-

prés del primer de Cornell i Wieman), és l'investigador que, fins ara, ha efectuat més contribucions i més interessants:

- Tercera observació de CBE en el món, primera en  $^{23}\text{Na}$  (vegeu la taula 1).
- Assoliment de condensats molt grans, amb 1-10 milions d'àtoms.
- El fet anterior ha permès la primera observació no destructiva (és a dir, sense necessitat de fer-lo expandir) del condensat, per mètode òptic dispersiu (permet  $\sim 100$  observacions/s) [10].
- El fet anterior ha permès ratificar que hi ha una separació de fases no sols en l'espai de moments, sinó en l'espai real (a causa de la presència del potencial extern), i mesurar directament el *moviment del punt zero* associat al principi d'incertesa de Heisenberg.
- Primera demostració de la «coherència» del condensat.
- Primera demostració d'un *làser d'àtoms*.
- Estudi detallat de la formació de vòrtexs, i de distribucions de vòrtexs (*Abrikosov arrays*), dins els condensats. Superfluïdesa.
- Estudi d'efectes no lineals en condensats, deguts a la interacció entre els àtoms. En particular, *four-wave mixing* amb dues ones de llum i dues d'àtoms (difracció de Bragg...), i amplificació d'ones de matèria.
- Creació de fonons (*Bogoliubov transformation*—quasipartícules amb  $\pm q$ ).
- Estudis de superfluïdesa, de condensats multicomponents...
- Inici de l'estudi de les propietats d'un gas d'àtoms fermiònics fred.

Les referències relacionades amb aquests treballs són les [8-17] (vegeu també la figura 6 anterior). Com a comentari d'algunes d'aquestes investigacions assenyalades, podem indicar que el *moviment del punt zero* es refereix al fet que, segons el principi d'incertesa de Heisenberg, no es pot tenir una partícula en un estat on la posició estigui perfectament definida i al mateix temps la velocitat estigui també perfectament definida. Això implica que, fins i tot en l'estat més baix d'energia, les partícules mostren un cert moviment residual, que introdueix una petita incertesa en la seva posició i velocitat. Doncs bé, Ketterle i els seus col·laboradors han demostrat que el moviment residual dels àtoms del condensat és el que correspon a aquest mínim quàntic.

La demostració de la «coherència» del condensat es refereix al fet que Ketterle va confirmar experimentalment que el condensat està definit per una única funció d'ona, la qual té una amplitud i una fase ben definides. El seu mètode va consistir a crear dos condensats (separats solament per un feix laminar de llum làser), i a continuació fer-los superposar. Per a aquesta fi va anul·lar el camp magnètic de confinament, amb la qual cosa els dos condensats es van expandir (i caure per gravetat) i, per tant, van anar superposant-se, de manera que es va anar creant una interferència entre les dues funcions d'ona que descriuen cada condensat. Aquesta interferència, que dona com a resultat una ona estacionària de matèria, amb nodes i ventres, està representada a la figura 7. Aquest resultat, que (igual que havia passat amb una part de la figura 5) va aparèixer publicat a la portada de la revista *Science* [11], va ser molt important amb vista a corroborar la propietat bàsica d'un condensat: l'obediència té una única funció d'ona.

També va ser molt interessant la demostració d'un làser d'àtoms [11-13], el qual consisteix en la generació d'uns pols de matèria, on tots els seus àtoms es mouen de

manera coherent entre si (igual que en uns pols de llum làser, on la llum és coherent). Ketterle i els seus col·laboradors el varen aconseguir ideant una manera de deixar escapar, controladament, una part dels àtoms que formen el condensat; tots aquests àtoms surten en un mateix estat i es propaguen de manera coherent. La manera de deixar-los escapar controladament va consistir a fer girar bruscament, mitjançant l'aplicació d'uns pols de camp magnètic orientat convenientment, el moment magnètic d'una part dels àtoms del condensat. Aquests àtoms amb el moment magnètic girat ja no estan sotmesos a la força de confinament produïda pel camp magnètic quadrupolar principal, i, per tant, surten del condensat, i s'acceleren per la gravetat. Els pols de matèria generats es poden observar en la figura 8.

106

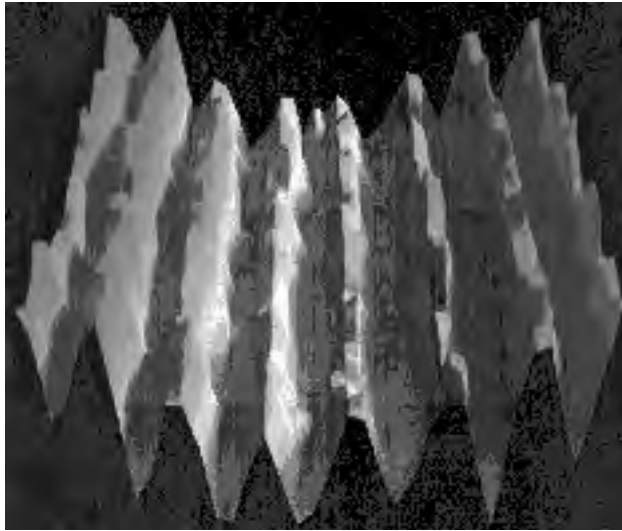


FIGURA 7. *Ona de matèria estacionària, amb nodes i ventres, formada per la superposició de dos condensats que es propaguen en direccions oposades (un va d'esquerra a dreta i l'altre de dreta a esquerra), amb una energia cinètica corresponent a 1 nK! [11].*



FIGURA 8. *Làser d'àtoms: polsos de matèria que emanen d'un condensat, i que, per tant, estan constituïts per àtoms que evolucionen de manera coherent entre si. Els polsos cauen per la gravetat [11-13].*

Un estudi molt recent és el de la formació espontània de vòrtexs en un condensat, quan el condensat se sotmet a una rotació al voltant d'un eix. Ketterle i els seus col·laboradors han sotmès un condensat a una rotació ràpida (mitjançant un feix de llum làser focalitzat sobre la perifèria del condensat i que es va fent girar, arrossegant tot el condensat a causa de la força dipolar que exerceix sobre el condensat), i, com a conseqüència d'aquest fet, dins el condensat es formen el conjunt de vòrtexs que s'observen en la figura 9. Aquests vòrtexs són com «forats» longitudinals, paral·lels entre si i paral·lels a l'eix de rotació, que travessen el condensat. Això ha confirmat plenament les previsions teòriques. En efecte, un condensat és un sistema irrotacional —ho és la funció descrita per (3)— i, per tant, no hi pot haver trajectòries tancades, llevat que encerclin

alguna singularitat; a més, tal com hem comentat, la circulació de la velocitat al voltant d'una singularitat està quantitzada. Com a resultat de tot això, un condensat no pot rotar sobre si mateix, amb qualsevol velocitat angular, llevat que es formin singularitats (vòrtexs) en el seu interior. I, en efecte, s'ha demostrat que els vòrtexs apareixen. El «fluid atòmic» es posa a circular al voltant de cada singularitat, amb una velocitat angular permesa per la quantització. Apareix el nombre de vòrtexs necessari per a satisfer la conservació de l'energia i el moment angular respecte a la força de rotació aplicada (aquestes xarxes de vòrtexs s'anomenen *d'Abrikosov*).

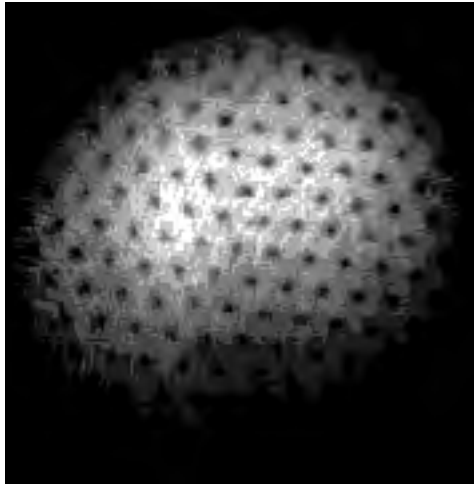


FIGURA 9. *Distribució de vòrtexs formats a l'interior d'un condensat, produïts per la rotació global del condensat (xarxes de vòrtexs d'Abrikosov). Els vòrtexs travessen el condensat i són paral·lels a l'eix de rotació [12-17].*

Finalment, comentarem que Ketterle també ha estudiat alguns fenòmens no lineals, des del punt de vista mencionat en l'apartat anterior. En particular, ha demostrat fenòmens

de «barreja de quatre ones» en els quals, en comptes de produir-se la barreja entre quatre ones de llum (com és habitual en òptica no lineal), es produeixen entre dos feixos de llum làser i dues ones de matèria, generades aquestes últimes com a excitació elemental del condensat. També, igual que en òptica no lineal, es produeixen interaccions i, en particular, intercanvis d'energia entre aquestes quatre ones. S'ha aconseguit, per exemple, amplificar ones de matèria [15].

## CONCLUSIONS

En conclusió, els premis Nobel de Física de 2001, juntament amb els seus col·laboradors, i junt també amb altres científics, han demostrat que les tècniques de refredament i atrapament d'àtoms, degudament modificades, es poden utilitzar per a aconseguir condensats de tipus Bose-Einstein d'àtoms. Aquests sistemes són molt més semblants al cas ideal considerat per Bose i Einstein de condensats formats per partícules sense interacció mútua que els altres tipus de condensats que s'havien aconseguit fins ara en altres classes de sistemes materials. Al mateix temps, aquests científics han estudiat, i continuen estudiant amb gran dedicació i eficiència, les propietats d'aquests condensats d'àtoms, els quals es formen a les temperatures més baixes conegudes en l'Univers.

A causa de la novetat dels condensats d'àtoms, als científics encara se'ls fa difícil imaginar quines aplicacions tindran. Es parla de les possibles aplicacions dels làsers d'àtoms en la litografia atòmica de precisió (igual que en el cas de la llum, els feixos coherents es poden focalitzar més bé sobre una superfície que els feixos incoherents), aplicacions en nanotecnologies (aprofitant també el làser d'àtoms, o bé el fet que en un condensat els àtoms estiguin distribuïts en l'espai de la manera més uniforme possible i, per tant, es podrien

dipositar més regularment sobre un substrat o sobre una distribució de pous de potencial), aplicacions en metrologia de precisió, en òptica atòmica, en computació quàntica... Som, doncs, en un camp d'estudi molt efervescent, en el qual ens esperen encara moltes sorpreses!

#### REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Detalls, des del punt de vista teòric, sobre la condensació de Bose-Einstein, en general, se'n poden trobar, per exemple, a:

[1] HUANG, K. *Statistical Mechanics* (Wiley, Nova York, 1987).

A continuació hi ha una llista no exhaustiva de les referències més importants dels treballs científics publicats pels premis Nobel de 2001:

#### *Cornell i Wieman*

- [2] ANDERSON, M. H.; ENSHER, J. R.; MATTHEWS, M. R.; WIEMAN, C. E.; CORNELL, E. A. *Science*, núm. 269 (1995), p. 198 (*cf.* també *Sci. Am.*, març 1998, p. 26-31).
- [3] JIN, D. S.; ENSHER, J. R.; MATTHEWS, M. R.; WIEMAN, C. E.; CORNELL, E. A. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 77 (1996), p. 420, i núm. 78 (1997), p. 764.
- [4] MYATT, C. J.; BURT, E. A.; CHRIST, R. W.; CORNELL, E. A.; WIEMAN, C. E. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 78 (1997), p. 586.
- [5] BURT, E. A.; CHRIST, R. W.; MYATT, C. J.; HOLLAND, M. J.; CORNELL, E. A.; WIEMAN, C. E. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 79 (1997), p. 337.
- [6] HALL, D. S.; MATTHEWS, M. R.; ENSHER, J. R.; WIEMAN, C. E.; CORNELL, E. A. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 81 (1998), p. 1539.



- [7] HALL, D. S.; MATTHEWS, M. R.; WIEMAN, C. E.; CORNELL, E. A. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 81 (1998), p. 1543.
- [7b] DONLEY, E. A. *et al. Nature*, núm. 412 (2001), p. 295.

### **Ketterle**

- [8] DAVIS, K. B.; MEWES, M. O.; ANDREWS, M. R.; VAN DRUTEN, N. J.; DURFEE, D. S.; KURN, D. M.; KETTERLE, W. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 75 (1995), p. 3969.
- [9] MEWES, M. O.; ANDREWS, M. R.; VAN DRUTEN, N. J.; KURN, D. M.; DURFEE, D. S.; TOWNSEND, C. G.; KETTERLE, W. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 77 (1996), p. 988.
- [10] ANDREWS, M. R.; MEWES, M.-O.; VAN DRUTEN, N. J.; DURFEE, D. S.; KURN, D. M.; KETTERLE, W. *Science*, núm. 273 (1996), p. 84.
- [11] ANDREWS, M. R.; TOWNSEND, C. G.; MIESNER, H. J.; DURFEE, D. S.; KURN, D. M.; KETTERLE, W. *Science*, núm. 275 (1997), p. 637.
- [12] MEWES, M. O.; ANDREWS, M. R.; KURN, D. M.; DURFEE, D. S.; TOWNSEND, C. G.; KETTERLE, W. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 78 (1997), p. 582.
- [13] KETTERLE, W.: *Physics Today* (març 1997). TOWNSEND, C. G.; KETTERLE, W.; STRINGARI, S. *Phys. World* (març 1997), p. 29-34.
- [14] STAMPER-KURN, D. M.; ANDREWS, M. R.; CHIKKATUR, A. P.; INOUE, S.; MIESNER, H. J.; STENGER, J.; KETTERLE, W. *Phys. Rev. Lett.*, núm. 80 (1998), p. 2027.
- [15] INOUE, S.; PFAU, T.; GUPTA, S.; CHIKKATUR, A. P.; GÖRLITZ, A.; PRITCHARD, D. E.; KETTERLE, W. *Nature*, núm. 402 (1999), p. 641.
- [16] ABO-SHAEER, J. R.; RAMAN, C.; VOGELS, J. M.; KETTERLE, W. *Science*, núm. 292 (2000), p. 476.
- [17] RAMAN, C.; ABO-SHAEER, J. R.; VOGELS, J. M.; XU, K.; KETTERLE, W., *cond-mat/0106235* (2001).



**ELS PREMIS NOBEL  
DE L'ANY 2001  
SOBRE EL  
PREMI NOBEL D'ECONOMIA  
CONCEDIT A  
GEORGE A. AKERLOF,  
A. MICHAEL SPENCE  
I JOSEPH E. STIGLITZ,  
A CÀRREC DE JOAN TUGORES,  
DE LA UNIVERSITAT  
DE BARCELONA**

En primer lloc voldria agrair a l'Institut d'Economia de Catalunya i a la Societat Catalana d'Economia l'amable invitació per ésser aquí i parlar de tres il·lustres economistes que, amb tota justícia, l'any 2001 han estat guardonats amb el Premi Nobel d'Economia i, molt específicament, voldria agrair als senyors Pere Puig i Josep Carreras les seves paraules tan cordials de presentació.

La informació asimètrica pot semblar un tema molt tècnic, i ho és, però forma part d'una de les preguntes més importants que de vegades ens toca fer-nos com a economistes: per què existeixen els mercats o per què existeixen determinats mercats i d'altres no? Estem massa acostumats —sobretot els economistes en l'exercici de la professió— a donar per descomptat que de tal mercaderia o de qualsevol altra n'existeix un mercat, o la seva oferta o la seva demanda, que hi ha unes condicions d'equilibri o desequilibri i unes regles de joc del mercat. Estem acostumats, per la nostra professió o pel nostre bagatge acadèmic, a formular-les, però moltes vegades no som conscients que, perquè un mercat arribi a existir, hi ha uns requisits previs que no sempre es compleixen, i la informació asimètrica o un grau excessiu d'asimetria de la informació pot fer que alguns mercats, que seria positiu que existissin, no arribin a sorgir. Això, que en abstracte sembla una cosa teòrica, ha trobat un camp important d'aplicació, per exemple, en la transició d'alguns països d'economies planificades fins a economies que en teoria intentaven ésser de mercat, i que s'han trobat amb serioses deficiències perquè no s'han donat algunes de les condicions bàsiques de l'entorn perquè existeixin mercats eficients.

Mes enllà d'això intentaré fer una presentació sistemàtica sobre el sentit de la informació asimètrica i de la seva importància. Cal recordar que, quan hom pensa en el model bàsic de l'oferta i la demanda per explicar com són les economies modernes o com determinen els preus, en parlar de

mercat es poden donar els dos conceptes que vénen al cap: l'oferta i la demanda. Normalment, el model clàssic d'oferta i demanda, el més utilitzat pels economistes professionals i acadèmics, és un mercat en el qual hi ha una mercaderia perfectament estandarditzada i homogènia, amb una competència quasi perfecta, és a dir, un nombre molt elevat de compradors i un nombre elevat de venedors. Cap d'ells no té una influència decisiva sobre el preu i, a més a més, hi ha una demanda i una oferta conegudes amb certesa, amb plena informació sobre totes les característiques de quina mercaderia i quina quantitat es demana per cada preu i quina i quanta mercaderia s'ofereix per cada preu. Per tant, el paradigma clàssic dels mercats convencionals té les tres característiques següents: la competència perfecta, l'homogeneïtat del producte i la informació perfecta.

Quina és la manera de resumir els avenços de la microeconomia del segle XX i el que hem viscut de segle XXI? Doncs que la microeconomia ha anat avançant mitjançant la successiva relaxació d'aquests tres supòsits tan simplificadors.

En primer lloc, va aparèixer la teoria de la competència imperfecta, la teoria dels oligopolis, la teoria dels monopolis, fins a arribar a nivells de sofisticació realment molt elevats. Per tant, el supòsit de competència perfecta ha quedat quasi com a residual per a un nombre pràcticament molt reduït de mercats i, en el món actual, els mercats imperfectament competitius són la regla i, d'això, els economistes i l'opinió pública n'estan ben assabentats.

El segon aspecte que esmentava i que s'ha relaxat és el de l'homogeneïtat del producte. Cada vegada és més evident que, quan hom va a comprar a qualsevol botiga o supermercat una mercaderia qualsevol, un fet omnipresent és l'heterogeneïtat, la diferenciació, la varietat de productes. Quan algú vol comprar un ordinador o un cotxe, la pregunta que es fa és: quin dels nombrosos models vull comprar? El comprador

acostuma a comparar preus, qualitat, etc. Per tant, ha reaparegut —va néixer durant la dècada de 1930, però s'ha desenvolupat molt a partir dels anys 1970-1980— una part de la microeconomia moderna, que és la teoria de la diferenciació del producte, la varietat, que comporta trencar amb aquell supòsit bàsic del model paradigmàtic clàssic d'homogeneïtat de productes.

I el tercer tret clàssic a què feia referència: el de la informació perfecta. Oferents i demandadors coneixen les característiques del producte, el preu o la seva qualitat, etc. Aquest tercer tret, el de la informació perfecta, és el que s'ha trencat amb les aportacions analítiques dels guardonats amb el Premi Nobel de 2001, que han introduït la consideració que moltes vegades en la vida econòmica, empresarial o, fins i tot, quotidiana, quan hom estudia si comprar o no una mercaderia, no té facilitat per obtenir de manera gratuïta i immediata tota la informació rellevant sobre el producte o sobre les circumstàncies que necessita conèixer del negoci que vol fer. Per tant, la imperfecció de la competència, juntament amb l'heterogeneïtat de productes —segon— i la informació imperfecta —tercer— són tres avenços importants en la microeconomia moderna que resulten de trencar i, al mateix temps, sofisticar l'anàlisi clàssica de mercat que suposava la competència perfecta, els productes homogenis i la informació perfecta.

Som, per tant, en el marc en el qual es produeixen les contribucions dels premiats amb el Nobel, en el marc d'una informació que és imperfecta, incompleta, asimètrica, i això canvia algunes regles del joc a què estem acostumats. Ara bé, dins de la informació imperfecta hi ha diverses consideracions.

Pot ser que la informació sigui imperfecta o incompleta, però que ho sigui igualment per a totes les parts que participin en una transacció. És el cas de dues persones que juguen a cartes, en què cada una per igual desconeix el joc de

l'altra o les cartes que li donaran. Si es tracta d'un negoci en què una persona vol assegurar una collita i en què una altra persona és l'asseguradora, en principi la informació sobre les condicions climàtiques és imperfecta, igualment imperfecta per a totes dues persones. El mateix ocorre en la contractació d'una assegurança de vida. O un altre cas: si dues persones decideixen de participar en un negoci, invertir-hi diners, no saben si aquest negoci pot anar bé o malament. *A priori*, hom podria pensar que les possibilitats que el negoci vagi bé o malament són iguals per a les dues persones candidates a ser sòcies. Per tant, si tot el problema d'informació imperfecta o d'incertesa fos que no tenim informació precisa, que només podem parlar en termes de probabilitats —si hi haurà o no sequera, si el negoci anirà bé o malament, si tindrà o no un accident l'any vinent...—, si tot el problema de la informació fos igualment imperfecte per a les dues parts de la transacció seria relativament senzill de resoldre i per això s'ha inventat una figura per fer un pul de riscos, per tal de cobrir les contingències que depenen de mers termes estadístics.

Ara bé, la novetat de les aportacions dels economistes que han rebut el Premi Nobel deriva de situacions en les quals la informació no sols és incompleta o imperfecta, sinó que és desigualment incompleta o imperfecta per a les dues parts que participen en una transacció, el venedor i el comprador, el potencial assegurador i el potencial assegurat, la figura o el contracte que s'estigui estudiant. Dins d'aquesta informació, que pot ser asimètrica, hi ha bàsicament dues varietats: una, que no és ben bé d'informació asimètrica, i una altra que és de veritable informació asimètrica. La primera és aquella anomenada de risc moral, en la qual les probabilitats que succeeixi una determinada contingència depenen del que faci una de les parts interessades. Per exemple, del fet que hom porti o no el cinturó de seguretat quan condueix dependrà que es faci mal si té un accident; per tant,

hom pot prendre precaucions, però els casos d'informació asimètrica més presents en la vida quotidiana són aquells en els quals, estructuralment, per algun motiu de fons, hi ha una diferència d'informació sobre algun aspecte important del contracte entre dues persones que negocien.

Quins són els exemples típics? El primer és el d'Akerlof, en el seu ja clàssic article de l'any 1970, «The market for lemons» —*lemons* en anglès és un nom col·loquial que s'utilitza per designar els articles defectuosos, els objectes que no funcionen bé—, en el qual s'introdueix la idea que, quan una persona vol vendre un cotxe de segona mà en el mercat d'automòbils d'ocasió, normalment, té més informació sobre el que funciona o el que falla de l'automòbil que no pas una persona que el troba en una exposició de cotxes i que, a molt estirar, fa una volta per conèixer si en funcionen les prestacions bàsiques. Per tant, els automòbils de segona mà són típicament un cas en el qual el venedor, per la seva experiència acumulada, té més informació sobre la veritable qualitat de l'automòbil que no pas el potencial comprador.

Quin és el problema que sorgeix en aquestes situacions? Si visquéssim en un món idíl·lic, en el qual totes les persones fossin honestes, benèfiques i seràfiques, el potencial comprador demanaria al venedor quins són els punts febles d'aquest cotxe i, en funció de la informació donada, podrien fixar un preu ajustat a l'autèntica qualitat de l'automòbil. Però el venedor no té cap interès a revelar l'autèntica qualitat de l'article que es disposa a vendre. Per tant, el problema bàsic de la informació asimètrica és que la part que té la informació no té cap incentiu a revelar l'autèntica informació a l'altra part, perquè aniria en contra dels seus interessos. Com deia Akerlof en l'article de 1970 «Market for lemons», en el mercat de segona mà, com que el potencial comprador sap perfectament que el venedor no té cap incentiu per revelar l'autèntica qualitat del producte, ja no se'n refia. Quin és



el resultat? El coneixem tots: el preu d'un cotxe de segona mà depèn bàsicament de l'any de matriculació, depèn de la mitjana, que com totes les mitjanes perjudica aquell venedor que de veritat té un cotxe que durant quatre o cinc anys ha guardat al garatge com si fos un fill, del qual ha tingut cura, que no ha tingut cap accident, etc.; i quan aquest venedor que ha tingut cura del cotxe intenta explicar al comprador potencial que ha de pagar més que la mitjana de les taules que estableixen les empreses, el comprador no el creu.

Per posar el cas més greu, això pot portar a la desaparició del mercat de segona mà, si finalment el preu estadístic és tan baix que ningú no porta els articles a vendre. Moltes vegades no hi ha articles, no sorgeixen determinats mercats, senzillament perquè els potencials compradors no tenen una manera eficient d'obtenir informació fiable dels articles que estan disposats a comprar. En el cas del mercat de l'automòbil de segona mà, la conseqüència és que si hom compra un cotxe nou de trinca i en paga dos milions de pessetes (12.024,24 €) i el vol vendre al cap d'una setmana sense que hagi sortit del garatge, no pot fer-ho ni de bon tros pel mateix import; el ven per un preu molt inferior perquè està pagant la baixa qualitat que té la mitjana dels automòbils que ja tenen una determinada antiguitat, encara que no l'hagi tret del garatge.

Si això s'aplica als articles de segona mà, podria semblar que és una cosa que té poc a veure amb la vida quotidiana, mes enllà d'un mercat molt concret, però hi té a veure. En una campanya electoral als Estats Units, un dels arguments per destruir la reputació d'un candidat presidencial —crec que va ser Nixon— va consistir a posar-ne una fotografia amb aquella expressió «malcarada» i la pregunta que feia el partit rival era: «Vostè li compraria un cotxe de segona mà?» En aquest cas, és una manera de dir que el venedor que no té incentius a revelar la veritat —un cotxe de segona mà, un polític, algú que ha de vendre la mercaderia...—, no

té credibilitat, i si se li pregunta si és corrupte o ho farà bé, dirà que ho farà bé. Aquest és el tipus de problemes de revelació de la informació correcta que moltes vegades contamina el procés econòmic i el procés polític.

Hi ha un cas molt especial d'aquest mecanisme en què manca la veritable qualitat o en què és difícil deduir-la amb la simple observació; és un cas molt concret, però molt important en la pràctica per a la societat i per al sistema educatiu: és el cas que va estudiar l'altre guardonat amb el Premi Nobel, Michael Spence, en un famosíssim article de l'any 1973, «Job, Market, Signalling», en què aplica la idea bàsica d'Akerlof a un mercat molt especial, el laboral, i dins d'aquest, el paper que hi té la formació i l'educació. Michael Spence, potser el menys conegut dels tres economistes, té una obra molt interessant, com a economista i com a universitari, perquè els seus suggeriments sobre el paper de l'educació en el mercat laboral són més provocatius del que sembla a primera vista i es basen en aquest principi d'informació asimètrica. Spence, en el seu article seminal de 1973, planteja bàsicament el següent: en el món, ens agradi o no, no totes les persones tenen les mateixes capacitats ni habilitats. N'hi ha algunes de més capaces i d'altres de menys dotades. Cada persona coneix les seves capacitats. Si és una mica sincera i busca feina i el potencial empresari que l'ha de contractar li diu: «jo a vostè no el conec de res; vostè és dels treballadors capaços o dels incompetents?» Què diria aquesta persona? «Jo no serveixo, no em contracti.» Mai no dirà això. Totes les persones, siguin més o menys capaces, tenen l'incentiu d'intentar transmetre la informació no fiable sobre la seva capacitat màxima i òbviament l'empresari fa bé de no creure-s'ho, de la mateixa manera que el potencial comprador d'un automòbil usat feia bé de no creure el venedor. També, en aquest cas, el treballador té tots els incentius per exagerar la seva qualificació. Llavors, quines maneres hi ha de resoldre

aquest problema d'informació asimètrica? El problema és que cada persona sap més o menys el que és capaç de treballar i, en canvi, la persona que l'ha de contractar, *a priori*, no té aquesta informació. És també un problema d'informació asimètrica. I el problema és com aconseguir que una persona reveli les seves autèntiques característiques, la informació autèntica, no pas la informació contaminada i oportunista.

Michael Spence va fer una formulació del que significa l'educació, el procés educatiu, el sistema de formació en termes de sistemes de senyalització, de teoria de la revelació. Per a Spence, un potencial empleador no pot discriminar en una entrevista de feina qui és llest i qui no ho és; aleshores, el seu mètode per esbrinar-ho es basa en el sistema educatiu, perquè aconseguir l'acreditació d'un títol d'ensenyament acadèmic (primari, secundari, universitari) requereix un esforç: s'ha d'aprovar una gran varietat d'exàmens per aconseguir un títol. Spence es planteja si hi ha cap tipus de correlació entre la capacitat de la gent i la facilitat per assumir aquest cost, i si hi ha cap tipus de relació entre el fet que la gent sigui llesta i treballadora i la seva capacitat per superar els nombrosos exàmens que comporta accedir a una determinada titulació. Si la resposta és afirmativa, llavors aconseguir un títol acadèmic és una manera de senyalitzar de forma indirecta que hom és una persona treballadora o una persona capaç, perquè ha superat un procés amb uns costos determinats.

Per tant, des del punt de vista de M. Spence, el procés educatiu serveix per trencar els problemes d'informació asimètrica en el mercat laboral; en la mesura que una acreditació acadèmica del nivell educatiu que sigui és un senyal que hom ha estat capaç de superar uns exàmens i, per tant, ha demostrat que pertany a la categoria de gent treballadora o capaç. Hi insisteixo: el sistema educatiu, les acreditacions, els títols... serien senyals de veritat sobre el que demanen els empleadors.

El descobriment de Michael Spence dels mecanismes de senyalització que serveixen per revelar informació autèntica de la part informada a la part no informada a partir d'aquest principi bàsic de racionalitzar (que només per aquest principi ja mereixia el Premi Nobel) és una experiència de la vida quotidiana. A partir d'aquí es deriven dues implicacions molt importants —una de més econòmica i una altra de més universitària. Quina és l'alternativa a la inexistència d'aquest paper senyalitzador del sistema educatiu? Aquest senyalitzador del sistema educatiu segons el qual la gent que és llicenciada universitària entra a les empreses i guanya tal quantitat i la gent que no està qualificada entra i guanya molt menys, posem per cas que la meitat. Per tant, si hi ha una estructura salarial discriminatòria a favor de la gent que té titulacions, és en la mesura que aquesta gent ha aconseguit senyalitzar el potencial empleador i que pertany a un tipus de persona amb unes capacitats o habilitats.

Quina seria l'alternativa en el cas que l'empresari no tingués manera de saber si la persona pertany a un grup o a un altre? La solució passa per oferir un salari uniforme a totes les persones i assumir el risc. Si una persona capacitada té una productivitat de dos i una altra no qualificada té una productivitat d'un, l'empresari, com que no pot discriminar qui és qualificat i qui no, podria oferir a tothom la mitjana del salari d'1,5, però aquest salari només atraurà la gent no qualificada, perquè la qualificada, que té una productivitat de 2, intentarà trobar un altre lloc on l'empresari tingui un mecanisme diferent de senyalització i li pagui per 2, amb la qual cosa el que passarà és que es produirà un mecanisme, que tècnicament s'anomena de selecció adversa, mitjançant el qual una empresa que té una única política salarial independentment de la qualificació, només atraurà la gent no qualificada, perquè la barrera d'entrada al nivell mínim d'aspiració de la gent qualificada està per sobre de la mitjana salarial que

oferirà l'empresa si no vol resoldre el problema d'informació asimètrica. Això s'anomena selecció adversa, perquè al final l'empresa selecciona, en contra dels seus interessos, el tipus de gent que menys li interessa. La senyalització serveix bàsicament per superar un problema de selecció adversa per tal de resoldre, doncs, el problema de la simetria informativa.

Quina implicació té per als professionals de l'educació? L'article de Michael Spence repeteix diverses vegades que aquest paper senyalitzador de l'educació depèn crucialment del fet que el cost d'aconseguir l'acreditació tingui algun tipus de correlació, amb la capacitat de treball de la gent i, per tant, el que diu, per exclusió, és que el valor del títol acadèmic no depèn del fet que s'incrementi simplement la productivitat de la gent, sinó que hi hagi una correlació amb la capacitat de superar les proves o no.

Des d'un punt de vista cínic, que no propugno però que es podria interpretar, la teoria de Michael Spence, portada al límit, voldria dir que, perquè el sistema educatiu faci bé el seu paper, el que és important no és ensenyar coses útils ni augmentar la productivitat, sinó que els exàmens siguin difícils i que es produeixi un procés de filtratge.

Resumint, fins ara el que he presentat són dues aportacions bàsiques, la d'Akerlof en el «market for lemons» i la de Spence en el mercat laboral en relació amb el sistema educatiu. Tots dos tenen un punt en comú: en ambdós plantejaments, una part informada i una altra de no informada «negocien»; la part informada no té cap incentiu realista per revelar l'autèntica informació: aquest és el problema bàsic de la informació asimètrica i pot portar el mercat a funcionar imperfectament o aconseguir que es posin en marxa mecanismes socials i institucions com el sistema educatiu o com les garanties del mercat de segona mà de l'automòbil. Una manera d'evitar-ho són les garanties. Si vostè compra un cotxe i durant els tres mil quilòmetres següents té una avaria,

l'hi canvio per un altre o li torno els diners. Són mecanismes per senyalitzar que la mercaderia que es ven té una «categoria superior».

Quina és l'aportació de Joseph Stiglitz, el tercer i més famós o més popular dels tres economistes que han compartit el premi Nobel? L'aportació de Stiglitz, des del punt de vista estricte de la informació asimètrica, és la d'aplicar aquesta mateixa idea, asimetria informativa de la selecció adversa, la importància de la senyalització, a temes o a àmbits tan sensibles com són els mercats de crèdits i els mercats d'assegurances.

En una sèrie de papers publicats per Stiglitz i amb la col·laboració d'altres investigadors durant les dècades de 1970 i 1980, Stiglitz aplica aquesta teoria de la selecció adversa i de la informació asimètrica al mercat de crèdits i al mercat d'assegurances.

Quan Stiglitz parla del paper de la informació asimètrica en el mercat de crèdit, està pensant en el funcionament micro i en les implicacions macroeconòmiques de la informació asimètrica i, per tant, un punt important de l'anàlisi de Stiglitz és que, amb tota seguretat, no va ser el primer economista que va tractar rigorosament la informació asimètrica, però sí que va fer el salt de l'aplicació dels problemes que originava, la informació asimètrica de la microeconomia a la macroeconomia. Stiglitz va explicar per què hi havia situacions en les quals semblava que hi havia racionament del crèdit, però que en el fons la macroeconomia tenia un problema microeconòmic d'informació asimètrica. Quina és l'argumentació de Stiglitz? Que cal anar alerta amb la interpretació clàssica de les corbes de l'oferta i la demanda de crèdit i amb les relacions que s'estableixen entre els seus tipus d'interès. La figura típica del mercat de crèdit seria una corba de demanda de crèdit amb pendent negatiu, una corba d'oferta de crèdit amb pendent positiu, en funció cadascuna dels tipus d'interès. Si el tipus d'interès puja, els empresaris es retireuen, i si el ti-

pus d'interès puja, els bancs estan més ansiosos d'oferir crèdits. Per tant, tindriem una figura clàssica: «oferta i demanda en el mercat de crèdit».

Quin va ser l'impacte de la informació asimètrica en el mercat de crèdit que va estudiar Stiglitz? Va dir que, quan els tipus d'interès comencen a pujar, la bibliografia clàssica diu que només continuaran demanant crèdit els empresaris que tenen projectes d'inversió més rendibles, és a dir, si pugen el tipus d'interès només obtindran crèdit els projectes que tinguin una taxa interna de rendiment superior a  $x$ . Stiglitz va dir que, en el món real, tothom sap que això no és veritat. Moltes vegades aniran als bancs a demanar crèdit, fins i tot amb tipus d'interès molt elevats, o buscaran inversors, com Gescartera, que ofereixin tipus d'interès extraordinaris, no les empreses més solvents, sinó les empreses que estan assumint més riscos assenyats o més riscos insensats. Per què? Perquè si tens un projecte molt arriscat que té un 20 % de probabilitats de sortir bé i de guanyar molts diners i un 80 % de perdre tots els diners, si demanes el préstec i et surt bé, el retornes i no tens cap problema, i si el projecte et surt malament, no el retornes i et declares insolvent. Aquest és el cas de Gescartera: prometen uns rendiments i «si l'encerto, l'endevino» (que gairebé mai no passa), doncs es retornen i, «si no l'encerto», doncs desapareixen...

Aquí tenim un problema, i és que la persona que gestiona un fons d'inversió o l'empresari que demana un crèdit per a un projecte té una informació asimètrica respecte al banc, o respecte a les persones que vol que li prestin diners, perquè la persona que coneix el projecte coneix més o menys la realitat de quins són els riscos i quines són les veritables oportunitats de rendiment del seu negoci, però aquesta persona no té cap incentiu a revelar al banc, com tampoc els potencials inversors de Gescartera, quina és la veritable situació; donat cas que el risc sigui gran, quin ús farà dels diners que

pensa obtenir en préstec. Per tant, aquí hi ha un problema d'informació asimètrica, que pot «contaminar» el funcionament del mercat de crèdit i que explica que hi hagi institucions com els bancs col·laterals, que exigeixen garanties pels préstecs o que, en teoria, als països anomenats civilitzats existeixin «comissions del mercat de valors» o alguna cosa semblant, els quals pretenen evitar els abusos de la bona fe de la gent enfront d'ofertes de tipus d'interès que òbviament no són realistes. Per tant, en principi hauria d'haver-hi institucions —i n'hi ha, i en la pràctica bancària, els col·laterals compleixen aquesta funció— per evitar les distorsions que una informació asimètrica entorn del veritable risc i de la veritable rendibilitat d'un projecte origina entre la persona que demana recursos per finançar el projecte i la persona, bancs o particulars que estan considerant d'aportar-hi recursos.

En el cas del mercat d'assegurances, les aportacions de Stiglitz varen ser pioneres. Es planteja el problema típic de situacions en les quals hi ha dues o més característiques col·lectives de persones (en l'exemple de manual, dos tipus de persones) segons el seu estil de conducció: unes són molt prudentes al volant, però òbviament poden tenir un accident com tothom, per mala sort, i també hi ha persones que tenen un comportament més agressiu al volant. En el cas d'assegurances de vida, hi ha persones que per la seva trajectòria saben que tenen una salut de ferro i hi ha persones que tenen més tendència a determinades malalties o a comportaments de risc. Òbviament, les persones que tenen un estil de conducció més arriscat o les persones que tenen una salut més fràgil no tenen cap incentiu a dir al seu assegurador: «posi'm un pòlissa cara, que jo sóc un conductor perillós», o «posi'm una prima de l'assegurança elevada, perquè jo no passaré de l'any que ve, perquè estic molt malalt, he tingut vint-i-set infarts»; ans al contrari, quan hom va a negociar una pòlissa sempre jura que és el conductor més bo del món i tots som



angèlics i seràfics, i si demanen informació sobre una assegurança de vida, si tu saps que si et surten uns antecedents o un historial clínic dolent hauràs de pagar una prima més elevada, tens un incentiu, no diré per enganyar, perquè tots som honestos, però, en fi, per maquillar la veritat. Quin problema pot passar? Que si la companyia d'assegurances no té manera de discriminar i ofereix un únic contracte, al final aquest contracte només interessa de veritat a la gent «menys indicada» (des del punt de vista de la rendibilitat de l'empresa asseguradora): hi ha de nou un problema de selecció adversa si la companyia d'assegurances fa una assegurança d'automòbil pensant en la mitjana d'accidents de la població. Aquest contracte tindrà una prima que serà «barateta» per al conductor arriscat però cara per al conductor honest o segur, i per tant, al final solament s'asseguraran els conductors arriscats, per la qual cosa les companyies d'assegurances acabaran incorrent en pèrdues. Resultat: per evitar aquesta asimetria informativa passa el mateix que en el mercat de «lemons», en què al final les companyies es basen en taules estadístiques: «Vostè es un jove de menys de trenta anys i més de dos anys de carnet? Doncs, ha de pagar X». Això perjudica òbviament una persona que pot tenir vint-i-quatre anys i el carnet des de fa tres mesos i ser un conductor exemplar. Per tant, hi ha una discriminació estadística basada en la dificultat que té la companyia d'assegurances de revelar la veritable informació i òbviament una conseqüència d'això també és que, si una persona s'ha de fer una assegurança de vida mínimament seriosa, les companyies d'assegurances et fan revisions mèdiques, creuen el teu historial mèdic amb el de companyies anteriors, etc., per tal de saber quins riscos assumeixen.

Què tenen en comú aquestes històries que els he explicat d'informació asimètrica? Totes aquestes històries tenen en comú un punt: que sempre hi ha un mateix perjudicat en

totes les històries d'informació asimètrica. Sempre hi ha una part que té informació «privilegiada» (de més qualitat), i aquesta part pot tenir unes característiques desitjables o unes característiques menys desitjables. Per exemple, quan parlem d'un automòbil de segona mà, la característica desitjable seria que de veritat hagués estat ben conservat, no hagués tingut cap accident, etc.; quan parlem d'un treballador, el desitjable seria una persona preparada i capaç, etc.; quan parlem d'un conductor, un conductor qualificat seria aquell que és prudent; quan parlem d'assegurances de vida, una persona que gaudeix de bona salut. Quin problema comú tenen totes les persones que pertanyen a aquesta part de la categoria «desitjable» i que no poden revelar de manera efectiva i creïble la informació asimètrica a l'altra part? Si no hi ha manera de revelar, mitjançant la senyalització, qui pertany a la categoria més «desitjable», aquestes persones acaben pagant preus alts, o acaben no tenint accés al mercat o havent-se de conformar amb les condicions mitjanes del mercat, que estan contaminades per altres col·lectius que tenen comportaments o característiques menys «desitjables». Per tant, típicament les situacions d'informació asimètrica plantegen el problema que aquella gent que pertany als col·lectius socialment més desitjables i no poden revelar aquesta informació acaben penalitzats per l'esclavatge de les estadístiques i de les mitjanes. Per això és tan important i tan freqüent que en la nostra societat s'intenti que sorgeixin mecanismes de senyalització que evitin aquesta discriminació, però aquests mecanismes de senyalització sempre són imperfectes, sempre són costosos, i una mica s'acaba revelant que qui paga el preu de la informació asimètrica són normalment les persones que tenen actituds, comportaments o qualificacions socialment més desitjables. Per tant, el problema de la informació asimètrica —i vinculat a aquest l'enginy o la capacitat de les societats per fabricar mecanismes de senyalització que

permetessin a la part no informada discriminar entre quin tipus de gent està tractant o amb quin tipus de mercaderia està tractant—, en la pràctica són problemes més amplis del que sembla a primera vista.

He dedicat la major part del temps a explicar de la manera més entenedora possible quins són els problemes de fons de la informació asimètrica i a posar-ne quatre o cinc exemples (n'hi ha molts més) per mostrar que la informació asimètrica i els intents imperfectes de solució estan més estesos en la vida quotidiana del que sembla.

Deixin-me acabar amb algunes altres aportacions dels tres guardonats, Akerlof, Spence i Stiglitz, a l'economia, que crec que són remarcables:

Del primer guardonat, Akerlof, voldria destacar tres coses: la primera és que Akerlof, des de fa aproximadament quinze anys, és un dels líders del que s'anomena l'escola Neokeynesiana de Berkeley, que ha establert la noció de *near rationality*, que més o menys ve a dir que no és del tot cert que aquest supòsit que fem els economistes de l'*homo economicus* de la màquina (ultraracional) de calcular sigui aplicable a la vida quotidiana i, en particular, en un article publicat l'any 2000, «Brookings Papers on Economic Activity», Akerlof utilitzava aquesta teoria de la «quasiracionalitat» per defensar que segurament una inflació moderada era potser millor que una inflació alta o que una inflació zero. Per tant, Akerlof desenvolupa dins d'aquesta línia neokeynesiana, que lidera amb la seva esposa Janet Yellen, també professora de Berkeley, aquesta idea que una dosi moderada d'inflació no és necessàriament dolenta, de manera que la inflació més bona possible no és necessàriament la inflació zero; és a dir, que hi ha nivells baixos d'inflació entre el 2 % i el 4 % que són pragmàticament desitjables en termes de la quasiracionalitat.

Una segona aportació d'Akerlof va ser que, quan es va produir el canvi, la transició dels països de l'Est a Europa, a

les economies de mercat, Akerlof, Yellen i altres autors van publicar una proposta de sistema per finançar la reconstrucció de la part oriental d'Alemanya, que propugnava un mecanisme, que en teoria s'havia d'autofinançar, de subsidis a l'ocupació. I, en general, Akerlof i la seva escola propugnen com a política regional mecanismes de subsidis directes de l'ocupació que, segons ells, fins i tot en espais amb unions monetàries —és a dir, fins i tot entre les dues alemanyes després de la unificació monetària—, uns subsidis a l'ocupació que podien tenir el mateix efecte que una devaluació de l'inexistent tipus de canvi ja entre l'Alemanya oriental i l'Alemanya occidental. Això és especialment interessant perquè Akerlof, a partir d'una noció de Nicholas Kaldor de l'any 1970, proposava com a política regional per a Escòcia algun tipus de subsidis a l'ocupació com un mecanisme alternatiu als ajustos dels tipus de canvi, que Escòcia no té respecte d'Anglaterra.

I finalment, la tercera aportació addicional a la informació asimètrica que volia destacar d'Akerlof, l'he tret examinant pàgines web del darrer curs que està impartint a la Universitat de Berkeley. Akerlof diu algunes coses que per als professors universitaris haurien de ser objecte de reflexió: en primer lloc recorda que dictar un curs universitari, no necessàriament és reescriure la «teoria general»; moltes vegades els economistes, sobretot els joves, cada vegada que impartim un curs tenim una certa tendència a voler arreglar tots els problemes del món, en comptes de ser pedagògics i clars en temes essencials. En segon lloc, diu que els cursos universitaris, sobretot els cursos de doctorat, són tan densos que els pobres alumnes no tenen temps de desenvolupar idees, perquè es passen el dia absorbint càpsules introduïdes memorísticament; i, en tercer lloc, diu en les instruccions que acompanyen el seu curs, que és fonamental que les assignatures universitàries ajudin a desenvolupar un «critical mind» (literalment diu: «m'agradaria que els meus alumnes a final

de curs fossin tan impertinents fent preguntes com Paul Krugman»). Aquesta és una declaració de principis que ens hauríem d'aplicar alguns de nosaltres; de fet, penso que tots.

El que voldria destacar del segon guardonat, Michael Spence, a banda, hi insisteixo, de la informació asimètrica, és que va saber combinar una època d'economista investigador brillant amb una dedicació a la gestió i al govern universitari important de l'any 1984 al 1990. Spence va ser degà de la Facultat d'Econòmiques de Harvard i, des del 1990 fins al 1999, degà de Stanford, i en el seu currículum hi figura de manera destacada que en l'època de degà va aconseguir incorporar-se a diversos consells d'administració d'empreses importants. De fet, actualment la càtedra de M. Spence està finançada pel president de Nike i va ser capaç d'aconseguir aportacions de fons privats per valor de cent vint milions de dòlars per a la seva facultat, la qual cosa, òbviament, hauria de ser part de la feina de qualsevol gestió universitària.

Sobre el tercer guardonat, Stiglitz no hi insistiré massa. Primerament membre, i després president, del consell d'assessors econòmics dels Estats Units; des de l'any 1997 va fer un pas endavant com a cap del Servei d'Estudis del Banc Mundial i va tenir una sortida fulgurant fa pocs mesos, abans de ser fitxat per Colúmbia, criticant algun «fonamentalisme» del FM. Més enllà de les opinions irades de Stiglitz, quan va sortir del Banc Mundial, en els seus textos d'aquesta darrera època hi ha un punt que voldria destacar, i és la recomanació en la qual crec fermament: estudiar l'economia d'un país, d'una nació, estudiar un sistema econòmic no vol dir mirar les estadístiques econòmiques i prou, vol dir també conèixer-ne la sociologia, conèixer-ne la política i dissenyar un sistema de mercat que funcioni. No vol dir només liberalitzar o privatitzar, vol dir dissenyar estructures legals que facin que els contractes es compleixin, dissenyar estructures reguladores. En definitiva, dissenyar un sistema financer que funcioni, és a

dir, dissenyar totes aquestes condicions d'entorn sociopoliticocultural, etc. De vegades, i des de fa anys, els qui vivim en una economia de mercat considerem que és una cosa que està «donada», que hi ha un entorn fixat. Per exemple, en la transició dels països de l'Est, moltes vegades, més que posar en marxa un sistema de privatitzacions, ha estat més complicat posar en marxa un sistema financer, un codi de comerç. Potser la reflexió de Stiglitz segons la qual l'economia és una ciència social, i no només una part de les matemàtiques, seria una forma que elegiria per acabar la meva dissertació.



