

# Institut

Els premis Nobel

# d'Estudis

PUBLICACIONS  
DE LA  
PRESIDÈNCIA  
31 / 2008

de l'any 2005  
*Cicle de conferències*

# Catalans



**PUBLICACIONS  
DE LA  
PRESIDÈNCIA  
31 / 2008**



# Els premis Nobel

**PUBLICACIONS  
DE LA  
PRESIDÈNCIA** de l'any 2005  
*Cicle de conferències*  
31 / 2008

Disseny gràfic: Enric Satué

© dels autors de les conferències  
© 2008, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició  
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: juliol de 2008  
Tiratge: 450 exemplars

Text revisat lingüísticament per la Unitat de Correcció  
del Servei Editorial de l'IEC

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Imprès a Limpergraf, SL

ISBN: 978-84-7283-981-6  
Dipòsit Legal: B. 31280-2008

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.

## SUMARI

### Introducció

7

Sobre el Premi Nobel de Física concedit a  
Roy J. Glauber, John L. Hall i Theodor W. Hänsch,  
per Ramón Corbalán,  
del Grup d'Òptica del Departament de Física  
de la Universitat Autònoma de Barcelona

13

Sobre el Premi Nobel de Química concedit a  
Yves Chauvin, Richard R. Schrock i Robert H. Grubbs,  
per Antoni Riera,  
catedràtic de Química Orgànica de la Universitat  
de Barcelona i investigador de l'Institut de Recerca Biomèdica  
(IRB Barcelona)

5

37

Sobre el Premi Nobel de Fisiologia o Medicina concedit a  
Barry J. Marshall i J. Robin Warren,  
per Ricard Guerrero,  
catedràtic de Microbiologia de la Universitat de Barcelona  
i membre de la Secció de Ciències Biològiques  
de l'Institut d'Estudis Catalans

61

Sobre el Premi Nobel de Literatura concedit a  
Harold Pinter,  
per Mireia Aragay,  
del Departament de Filologia anglesa i Alemanya  
de la Universitat de Barcelona  
105

Sobre el Premi Nobel d'Economia concedit a  
Robert J. Aumann i Thomas C. Schelling,  
per Andreu Mas-Colell,  
catedràtic d'Economia de la Universitat Pompeu Fabra  
i membre de la Secció de Filosofia i Ciències Socials  
de l'Institut d'Estudis Catalans  
141



L'Institut d'Estudis Catalans, acadèmia de les ciències i les humanitats, ha perseverat un any més a programar un cicle de conferències destinat a donar a conèixer la personalitat i les realitzacions dels recipiendaris dels premis Nobel de l'any en curs atorgats per l'Acadèmia Sueca.

En el setè cicle, organitzat i coordinat per la Secretaria Científica de l'Institut, que encapçala el professor Ricard Guerrero, hi han col·laborat decididament, com en anys anteriors, les societats filials de Física, de Química, de Biologia, de Llengua i Literatura i d'Economia a fi i efecte d'identificar les persones idònies en cada cas per a tractar dels investigadors i creadors guardonats, i aportar clarícies sobre els seus treballs i sobre les raons que han fet que els respectius jurats els atorguessin els premis. D'aquesta manera, l'Institut vol retre el seu particular homenatge als guardonats i, alhora, oferir informació puntual i rigorosa sobre els seus perfils biogràfics, els seus treballs, les relacions d'aquests amb els seus antecedents històrics —de vegades ja premiats en edicions anteriors dels premis Nobel—, el context en el qual han estat realitzats o la cultura en la qual s'integren.

L'Institut d'Estudis Catalans contribueix d'aquesta manera a difondre la significació de les persones premiades i de la seva obra per al seu àmbit de recerca o creació. Igualment, l'Institut vol així donar fonament a una raonable especulació sobre les repercussions que puguin tenir per al desenvolupament present i futur dels àmbits respectius i els possibles efectes de les troballes científiques sobre la societat.

El cicle de conferències de l'Institut d'Estudis Catalans pretén donar resposta a les preguntes que la societat pot plantejar-se. Són conferències d'alta divulgació, a càrrec d'especialistes en les matèries que són objecte dels estudis i les descobertes dels guardonats, adreçades a un públic amb una certa formació científica que vol conèixer els detalls i els perquès de l'atorgament de cada premi a les persones que

l'han rebut. Per fer-ne arribar el contingut a un públic més ampli es publiquen posteriorment en la sèrie «Publicacions de la Presidència».

Com d'habitud, en els premis Nobel s'han guardonat personalitats molt destacades en els camps respectius, tant per l'extensió de les seves contribucions com per la significació d'aquelles per les quals han estat específicament premiades. Els autors i les seves obres han estat glossats per estudiosos del seu mateix camp, coneixedors de la trajectòria dels premiats i, més particularment, de les contribucions que els han valgut el premi.

La meitat del Premi Nobel de Física de l'any 2005 s'ha concedit a Roy J. Glauber «per la seva contribució a la teoria quàntica de la coherència òptica» i l'altra meitat conjuntament a John L. Hall i Theodor W. Hänsch «per les contribucions al desenvolupament de l'espectroscòpia làser i, en especial, la tècnica de la pinta de freqüències òptiques»; s'han premiat, per tant, investigacions teòriques i experimentals en òptica quàntica. Les primeres, orientades a descobrir les característiques quàntiques de la llum; les segones, centrades en el desenvolupament de mètodes per a determinar mitjançant la llum l'estructura quàntica de la matèria i verificar teories fonamentals cada cop més precises. De fet, la precisió última que es pot assolir en mesures experimentals està limitada per fluctuacions quàntiques que es manifesten en el que es coneix com a *soroll quàntic*. D'aquesta manera, queda establerta la profunda connexió entre ambdues menes de recerca premiades aquell any amb el Nobel. Així ens ho fa notar Ramón Corbalán, del Grup d'Òptica del Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona, en la seva conferència.

El Premi Nobel de Química de l'any 2005 s'ha atorgat als professors Yves Chauvin, Robert H. Grubbs i Richard R. Schrock pels seus treballs en el camp de la metàtesi d'olefines

(alquens). Aquesta mena de reacció consisteix en el bescanvi de fragments d'alquè i ja s'emprava industrialment per a la fabricació de polímers i en la indústria petroquímica. No obstant això, els treballs dels guardonats n'han permès la utilització en síntesi orgànica mitjançant el desenvolupament de catalitzadors organometàl·lics estables i definits. La comercialització d'aquests catalitzadors n'ha generalitzat l'ús en l'última dècada, la qual cosa ha suposat una autèntica revolució en el disseny de la síntesi orgànica. Per això, tal com confirma en la seva conferència Antoni Riera, de l'Institut de Recerca Biomèdica (IRB Barcelona) i el Departament de Química Orgànica de la Universitat de Barcelona, el premi no ha estat cap sorpresa per a la gran majoria dels químics orgànics i molt especialment per a aquells que treballen en el camp de la síntesi orgànica.

El Premi Nobel de Fisiologia o Medicina de l'any 2005 ha estat concedit a dos metges australians, Barry J. Marshall i J. Robin Warren, per un descobriment en el camp de la microbiologia que van fer el 1982, quan van descriure la presència d'un bacteri, *Helicobacter pylori*, en l'estómac humà, i van relacionar el microorganisme amb la producció de gastritis i úlceres pèptiques. Això ha suposat, com posa en relleu en la seva conferència Ricard Guerrero, membre de la Secció de Ciències Biològiques i secretari científic de l'IEC, un veritable canvi de paradigma en la consideració de l'etiologia d'aquestes malalties gàstriques. La idea anava en contra del «dogma» tradicional, acceptat sense dubte per dècades: que la causa de la malaltia era l'estrès i l'excés d'àcid, i moltes persones (i en particular molts metges) es van resistir durant anys a creure que les úlceres tenien origen infeccios. La tenacitat dels descobridors i la solidesa de les seves demostracions els han fet mereixedors del premi.

El Premi Nobel de Literatura de l'any 2005 ha estat atorgat a l'autor teatral anglès Harold Pinter, com a màxim

exponent de la literatura dramàtica anglesa de la segona meitat del segle XX, que, segons el jurat del premi, «posa al descobert en les seves obres el precipici que s'amaga sota la xerrameca quotidiana i penetra en els espais resclosits de l'opressió». Mireia Aragay, professora de literatura anglesa a la Universitat de Barcelona, havia tingut ocasió de conduir, el 1996, en el marc de la «Tardor Pinter» organitzada a Barcelona per la Sala Beckett i el British Council, l'entrevista pública, multitudinària, que va tenir lloc al Centre de Cultura Contemporània de Barcelona (CCCB) amb l'ara premi Nobel. Ella ens introdueix la seva figura i, a partir del notabilíssim discurs de recepció del premi del mateix Pinter, «Art, veritat i política», desenvolupa les que, per a ella, són les tres passions definidores de l'obra del dramaturg.

Finalment, la concessió del Premi Nobel d'Economia de l'any 2005 a Robert J. Aumann i Thomas C. Schelling confirma, segons Andreu Mas-Colell, membre de la Secció de Filosofia i Ciències Socials de l'IEC, la influència de la teoria de jocs i l'interès social que desperta. L'any 1994, John C. Harsanyi, John F. Nash Jr. i Reinhard Selten compartiren el premi «per la seva anàlisi pionera de l'equilibri en la teoria de jocs no cooperatius». Robert J. Aumann i Thomas C. Schelling, guardonats enguany «per haver ampliat la nostra comprensió del conflicte i la cooperació mitjançant l'anàlisi de la teoria de jocs», són dos teòrics (el primer, matemàtic, i el segon, economista) que han estudiat les motivacions i les conseqüències del paradigma de la racionalitat en l'acció humana pel que fa als orígens i a la sustentació de les actituds cooperatives. El paradigma de l'acció racional, essencial en les ciències socials, d'arrel aristotèlica, és hegemònic en economia política des de l'època del seu fundador modern, Adam Smith. Aumann i Schelling han fet un pas més per a aclarir com es resolen situacions socials que requereixen cooperació amb interessos individuals sovint no compartits.

Més de cent anys després de la seva creació, els premis Nobel han assolit un prestigi universal i han esdevingut un referent per al món de la recerca en física, química, biologia i economia, i en el de la creació literària. Alguns camps, com ara certes ciències socials —l'antropologia, la sociologia, la ciència política, l'arqueologia, la història—, no queden encara coberts pels premis Nobel. D'altra banda, de tant en tant, algun guardó ha estat atribuït a treballs de dubtosa qualitat, mentre que persones i equips de recerca que el mereixien no l'han rebut mai. Tanmateix, és indubtable que la immensa majoria dels guardons correspon a assoliments molt significatius de la raó i l'esperit humans.

L'atorgament i el lliurament dels premis Nobel constitueixen esdeveniments socials d'un gran relleu a escala mundial, en els quals les institucions i els països representats pels guardonats guanyen també la seva quota de prestigi. L'interès i la curiositat creixents d'un públic cada cop més ampli pels temes relacionats amb el desenvolupament científic i tecnològic fan que els mitjans de comunicació dediquin també cada vegada més atenció a aquests premis i tractin de divulgar entre el gran públic els assoliments dels guardonats. L'Institut, que té com un dels seus objectius principals la difusió cívica del coneixement científic, se suma així a un esforç col·lectiu de democratització del saber racional, fe-faent i humanístic de la realitat.

SALVADOR GINER  
President de l'Institut d'Estudis Catalans



**ELS PREMIS NOBEL  
DE L'ANY 2005  
SOBRE EL  
PREMI NOBEL DE FÍSICA  
CONCEDIT A  
ROY J. GLAUBER, JOHN L. HALL  
I THEODOR W. HÄNSCH,  
PER RAMÓN CORBALÁN,  
DEL GRUP D'ÒPTICA  
DEL DEPARTAMENT DE FÍSICA  
DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA  
DE BARCELONA**

**NOVA LLUM EN ÒPTICA QUÀNTICA. EN EL CENTENARI  
DEL FOTÓ, UNS INVESTIGADORS EN ÒPTICA QUÀNTICA  
GUANYEN EL PREMI NOBEL DE FÍSICA 2005**

**RESUM**

La meitat del Premi Nobel de Física de l'any 2005 s'ha concedit a Roy J. Glauber «per la seva contribució a la teoria quàntica de la coherència òptica» i l'altra meitat conjuntament a John L. Hall i Theodor W. Hänsch «per les contribucions al desenvolupament de l'espectroscòpia làser i, en especial, la tècnica de la pinta de freqüències òptiques». Es premien, per tant, investigacions teòriques i experimentals en òptica quàntica. Tot seguit es comenten i s'analitzen aquestes aportacions dels guardonats.

14

**PARAULES CLAU:** òptica quàntica, coherència òptica, espectroscòpia làser, làsers de femtosegons, fibres de cristall fotònic, pinta de freqüències òptiques, mesures de precisió, rellotges atòmics.

**ABSTRACT**

One half of the 2005 Nobel Prize in Physics was awarded to Roy J. Glauber “for his contribution to quantum theory of optical coherence”, while the other half was shared by John L. Hall and Theodor W. Hänsch “for their contributions to the development of laser-based precision spectroscopy, including the optical frequency comb technique”. Thus, both theoretical and experimental researchs were recognized. Here the awardee's contributions are commented on and analyzed.



KEY WORDS: quantum optics, optical coherence, laser spectroscopy, femtosecond lasers, photonic crystal fibers, optical frequency comb, precision measurements, atomic clocks.

Els fenòmens òptics ens han apassionat des de ben antic. Els estudis dissenyats per descobrir la natura de la llum han estat un dels autèntics motors de la física, i aquest és l'objectiu de l'òptica, que és una de les àrees més actives de la física. N'és una prova la ràpida successió de premis Nobel en aquest camp en anys recents: 1997, 2001 i 2005.

La meitat de l'últim Premi ha estat per a Roy J. Glauber, de la Universitat Harvard (EUA), «per les seves contribucions a la teoria quàntica de la coherència òptica». L'altra meitat s'ha atorgat a parts iguals a John L. Hall, del Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA) (Universitat de Colorado i National Institute of Standards and Technology), de Boulder (EUA), i a Theodor W. Hänsch, del Max-Planck-Institut für Quantenoptik, de Garching, i de la Universitat Ludwig Maximilian de Munic (Alemanya), «per les seves contribucions al desenvolupament de mètodes d'espectroscòpia làser de precisió, incloent-hi la tècnica de la pinta de freqüències òptiques» (figura 1).

15

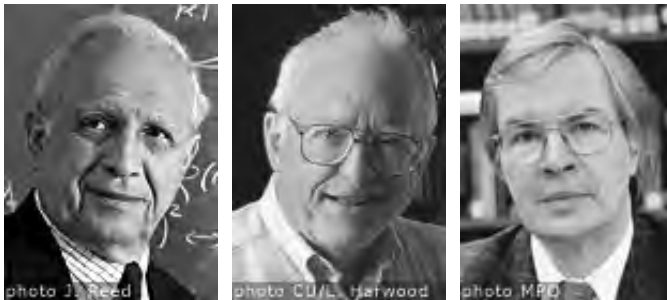


FIGURA 1. Fotografies dels premiats. D'esquerra a dreta, Roy J. Glauber, John L. Hall i Theodor W. Hänsch. Fotografies: Copyright © The Nobel Foundation.

Amb aquest guardó han estat premiades investigacions teòriques i experimentals. Les primeres, orientades a descobrir les característiques quàntiques de la llum; les segones, centrades en el desenvolupament de mètodes per a determinar mitjançant la llum l'estructura quàntica de la matèria i verificar teories fonamentals cada cop més precises. De fet, la precisió última que es pot assolir en mesures experimentals està limitada per fluctuacions quàntiques que es manifesten en el que es coneix com a *soroll quàntic*. D'aquesta manera, queda establerta la profunda connexió entre ambdós tipus de recerca premiats aquest any amb el Nobel.

Les reaccions de la comunitat científica han estat molt positives, atès el gran prestigi dels guardonats. Recollim algunes opinions de destacats membres de la comunitat internacional. Segons Maciej Lewenstein i Jürgen Eschner, de l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO) de Barcelona, «Glauber, Hänsch i Hall són molt estimats pels seus col·legues científics. A les endevinalles sobre qui guanyaria el Nobel, ells eren en els primers llocs de la llista des de feia temps i l'acord sobre la seva concessió és molt ampli». Per a Peter Knight, de l'Imperial College de Londres, «els tres guardonats són figures mundials en òptica quàntica. Tots tres són magnífics. És un gran any per a l'òptica a tot arreu!»

## QUÈ ÉS LA LLUM?

### Del segle XVII al naixement de l'òptica quàntica

Des de l'antiguitat s'han anat proposant diverses respostes a la pregunta «què és la llum?» En el segle XVII es va establir una controvèrsia ona-partícula entre els que, com Descartes i Huygens, mantenien que la llum era un moviment ondulatori, anàleg al so, i els que, com Newton, deien que la llum consistia en un flux de partícules.

Tot i la notable autoritat de Newton, observacions experimentals posteriors varen anar donant suport a poc a poc a la imatge ondulatoria i, amb l'establiment de la teoria electromagnètica de Maxwell, a finals del segle XIX es considerava de manera unànime que la llum era una ona electromagnètica. Semblava que s'havia aconseguit la resposta definitiva. Un grau tal de satisfacció, però, no va durar gaire. L'any 1900, Max Planck (premi Nobel de Física 1918), per tal d'explicar l'espectre d'emissió dels cossos calents, va introduir la idea que la llum tèrmica emet i absorbeix l'energia de manera discreta en forma de quàntums de llum.

Fa un segle, l'any 1905, Einstein (premi Nobel 1921) generalitzà la idea anterior de Planck tot establint que la mateixa llum està formada per quàntums discrets, que posteriorment es designaren com a *fotoons*. D'aquesta manera, va explicar les característiques de l'anomenat *efecte fotoelèctric*, que consisteix en l'emissió d'electrons per mitjà dels metalls en ser il·luminats per radiacions de longitud d'ona curta. Cal assenyalar que la major part dels detectors actuals de llum es basen en l'efecte fotoelèctric. Així va aparèixer, en el cas de la llum, la dualitat ona-partícula: la llum, que en molts experiments es comporta com una ona, en d'altres ho fa com un flux de partícules. Ambdues imatges, però, són incompatibles en el marc de la física clàssica. Per tant, es va haver d'iniciar la revolució quàntica que permetés desenvolupar una nova física, capaç d'integrar les imatges corpuscular i ondulatoria per al mateix objecte físic.

En la dècada de 1920, Louis-Victor de Broglie (premi Nobel 1929) generalitzà la idea de dualitat en les partícules materials. Werner Heisenberg (premi Nobel 1932), Erwin Schrödinger, Paul Dirac (compartiren el Premi Nobel 1933) i d'altres establiren les bases de la mecànica quàntica. Fermi i Dirac començaren l'estudi de la interacció entre la llum quantitzada i els àtoms, i afermaren l'anomenada *electro-*

*dinàmica quàntica no relativista* (QED no relativista). Mitjançant aquesta teoria, en la dècada de 1930, Wigner i Weisskopf estudiaren la dinàmica de l'emissió espontània de llum pels àtoms i es varen trobar per primera vegada amb el problema de les divergències que envoltarien la QED. El problema de les divergències el varen resoldre Sin-itiro Tomonaga, Julian Schwinger i Richard P. Feynman (compartiren el Premi Nobel 1965) en la dècada de 1940 mitjançant la tècnica de la renormalització. D'aquesta manera es va establir la QED com la teoria física més precisa desenvolupada fins al moment. Un altre fet rellevant d'aquesta dècada i que va impulsar l'experimentació en QED fou l'observació de Willis Lamb (premi Nobel 1955) del desplaçament que porta el seu nom en l'estructura de l'estat  $n = 2$  de l'hidrogen.

L'any 1956, Hanbury-Brown i Twiss introduïren un nou tipus d'experiments en òptica, la interferometria d'intensitats, i observaren l'efecte que porta el seu nom. Aquest efecte originà una notable controvèrsia en l'època, perquè alguns el consideraven una manifestació del caràcter corpuscular de la llum, mentre que d'altres en proposaven explicacions clàssiques. L'any 1960, es va inventar el làser, considerat com una de les aportacions més importants de la física en el segle XX. Charles H. Townes, Nicolaj G. Basov i Aleksandr M. Prokhorov compartiren el Premi Nobel de l'any 1964 per aquest invent.

L'any 1963, Roy J. Glauber, en adonar-se que «la teoria quàntica ha tingut una influència sobre l'òptica que és solament una fracció de la influència que l'òptica ha tingut històricament sobre la teoria quàntica», inicià una aplicació sistemàtica de la QED als problemes òptics. De fet, ha rebut el Premi Nobel per dos articles teòrics i una breu nota resum d'aquests publicada el 1963.<sup>1</sup> Els articles, «The quantum

1. R. J. GLAUBER (1963a, 1963b, 1963c).

theory of optical coherence» i «Coherent and incoherent states of the radiation field», són obres mestres d'enginy, rigor i claredat que han estat els fonaments del gran desenvolupament de l'òptica quàntica i que han contribuït al seu establiment com a disciplina independent.

CONTRIBUCIONS DE GLAUBER L'ANY 1963:  
TEORIA QUÀNTICA DE LA COHERÈNCIA ÒPTICA

En els articles esmentats, Glauber tractà de qüestions fonamentals adreçades a obtenir informació sobre el flux de fotons d'un feix de llum. Va desenvolupar la teoria quàntica de la fotodetecció i va establir els observables del camp electromagnètic que es poden mesurar amb estudis de coincidències retardades en la detecció de fotons per detectors varis.

Com es pot distingir un feix de llum provinent d'una làmpada i un de llum làser? *A priori*, hom diria que ambdues llums són diferents, atès que les làmpades operen per emissió espontània i els seus diferents àtoms actuen de manera independent. Aquest tipus de llum s'anomena *caòtica*. Per contra, els làsers operen per emissió estimulada i tots els seus àtoms actuen de manera perfectament sincronitzada (figura 2).

19

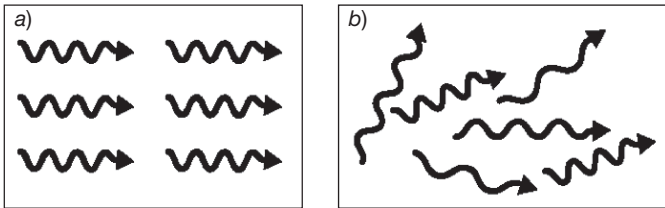


FIGURA 2. Diferència entre a) llum làser i b) llum procedent d'una làmpada. En la llum làser les ones emeses pels diferents àtoms tenen la mateixa fase, longitud d'ona i direcció.

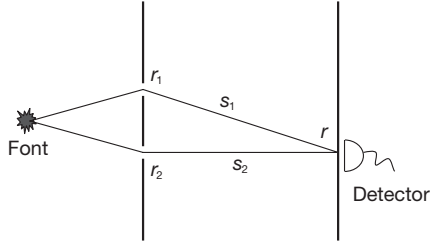


FIGURA 3. Esquema per a l'observació d'interferències amb la doble esletxa de Young.

Malgrat això, Glauber demostrà que si es filtra un feix de llum caòtica fins a deixar-lo amb el mateix contingut espectral que un feix làser, ambdós tipus de llum no es podrien distingir en els experiments interferencials que s'utilitzen convencionalment en òptica, com ara la doble esletxa de Young, esquematitzada a la figura 3.

20

Va observar també que aquests experiments són sensibles únicament a correlacions del camp de primer ordre: la intensitat que mesura el detector en l'instant  $t$  depèn del valor mitjà del producte  $\mathbf{E}^*(\vec{r}_1, t_1)\mathbf{E}(\vec{r}_2, t_2)$  dels valors del camp

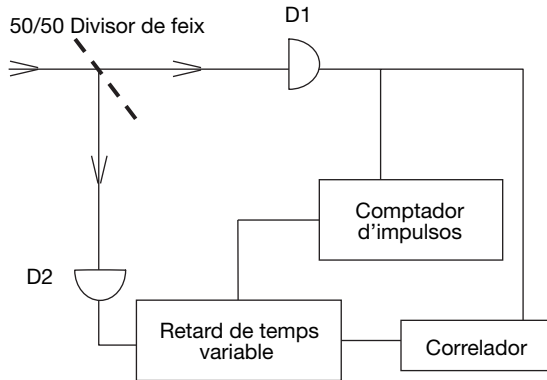


FIGURA 4. Esquema de l'interferòmetre d'intensitats de Hanbury-Brown i Twiss.

elèctric de l'ona en cada una de les escaletes, agafats en instants de temps anteriors  $t_i = t - s_i/c$ , ( $i = 1, 2$ ). Per a tenir una caracterització més completa dels diferents feixos de llum, Glauber va introduir una successió de funcions de correlació per a les amplituds complexes del camp, i va demostrar que la llum caòtica filtrada i la llum làser es podien distingir mitjançant l'estudi de les correlacions de segon ordre. Aquestes correlacions es poden mesurar amb l'interferòmetre d'intensitats introduït per Hanbury-Brown i Twiss (figura 4).

Tal com demostrà Glauber, l'observable  $C(\tau)$  que es mesura amb aquest interferòmetre és una funció de correlació de segon ordre (implica les intensitats del camp en dos punts espaciotemporals diferents, és a dir, quatre amplituds complexes del camp).

$$C(\tau) = \langle I_1(t)I_2(t+\tau) \rangle = \langle E^{(-)}(\vec{r}_1, t_1)E^{(-)}(\vec{r}_2, t_2)E^{(+)}(\vec{r}_2, t_2)E^{(+)}(\vec{r}_1, t_1) \rangle$$

21

Encara més, amb l'interferòmetre de Hanbury-Brown i Twiss es poden distingir també feixos de llum clàssics (és a dir, que es poden descriure mitjançant les equacions de Maxwell) i feixos de llum quàntics (que solament es poden descriure en termes de la física quàntica). A la figura 5 es mostra esquemàticament el tipus de resultats que s'obtenen en aquests casos.

Quan s'utilitza la radiació tèrmica, s'obté per  $C(\tau)$  una corba en la zona clàssica (ombrejat en blau) amb un màxim per  $\tau = 0$ . Aquest és el comportament observat per primera vegada per Hanbury-Brown i Twiss i indica que els fotons en aquest tipus de llum viatgen agrupats («bunched»);<sup>2</sup> Malgrat això, és possible explicar també aquest comportament en termes completament clàssics, sense fer servir el concepte de

2. R. HANBURY-BROWN i R. Q. TWISS (1956).

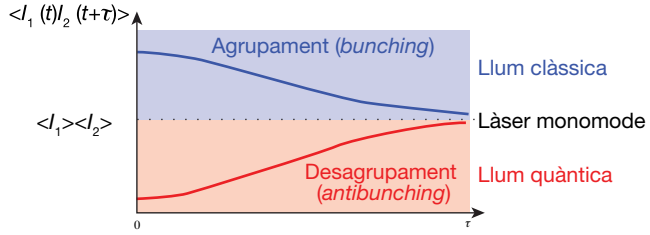


FIGURA 5. Esquema dels diferents tipus de resultats que s'obtenen amb l'interferòmetre d'intensitats de Hanbury-Brown i Twiss, segons el tipus de llum que s'analitzi.

22

*fotó*. Els làsers quasi monocromàtics (que emeten en un sol mode) produeixen una corba  $C(\tau)$  plana que fa de frontera entre els dominis clàssic i quàntic. Un feix de llum típicament quàntic, com el que emet espontàniament un àtom excitat permanentment per un làser ressonant, produeix un senyal  $C(\tau)$  amb un mínim a l'origen. Els fotons s'emeten ara de manera espaiada en el temps (*anti-bunched*), atès que en emetre un segon fotó fa que el làser incident l'exciti de nou. Per descomptat, l'interval de temps entre dues excitacions successives depèn de la intensitat del làser. Aquest i molts altres comportaments típicament quàntics han estat observats experimentalment.<sup>3</sup>

En els seus treballs de 1963, Glauber va definir els camps completament coherents com aquells en què les funcions de correlació poden factoritzar-se a tots els ordres, i demostrà que aquests camps existeixen, en principi, tant en la teoria clàssica com en la quàntica. Fins en aquella època, els estudis de QED s'havien desenvolupat en termes dels estats de Fock (estats amb un nombre de fotons perfectament definit que descriuen el caràcter corpuscular, però no mos-

3. Vegeu, per exemple, M. HENNRICH *et al.* (2005).



tren comportament ondulatori). Glauber va fer servir els estats coherents per a demostrar que constitueixen una base de l'espai dels estats del camp. Es fan servir per a representar estats i operadors del camp arbitrari. La representació en termes dels estats coherents permet apreciar clarament la diferència essencial entre les descripcions clàssica i quàntica del camp, encara que les formulacions apareguin com a formalment anàlogues.

Els estats coherents són combinacions lineals de tots els estats de Fock i realitzen el millor compromís per a les relacions d'indeterminació entre els caràcters corpuscular i ondulatori del camp. Per això es diu que tenen caràcter mínim. La seva expressió per a un mode del camp, descrit pels operadors  $a$  i  $a^+$  que aniquilen i creen fotons, és donada respectivament per:

$$|\alpha\rangle = \exp\left(-\frac{1}{2}|\alpha|^2\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\alpha^n}{\sqrt{n!}} |n\rangle$$

23

on  $\alpha$  és un número complex i  $|n\rangle$  un estat de Fock amb  $n = 0, 1, 2, \dots$  fotons.

## ESPECTROSCÒPIA LÀSER DE PRECISIÓ

En espectroscòpia s'analitza la llum emesa, absorbida o modificada per la matèria. S'obté així informació molt valuosa sobre l'estructura d'àtoms i molècules per a distingir cèl·lules canceroses de cèl·lules normals, per a detectar contaminació atmosfèrica, etc. De fet, la importància de l'espectroscòpia havia estat reconeguda amb la concessió del Premi Nobel en vuit ocasions anteriors.

En espectroscòpia d'alta precisió i d'alta resolució cal una radiació làser estable i àmpliament sintonitzable, i també

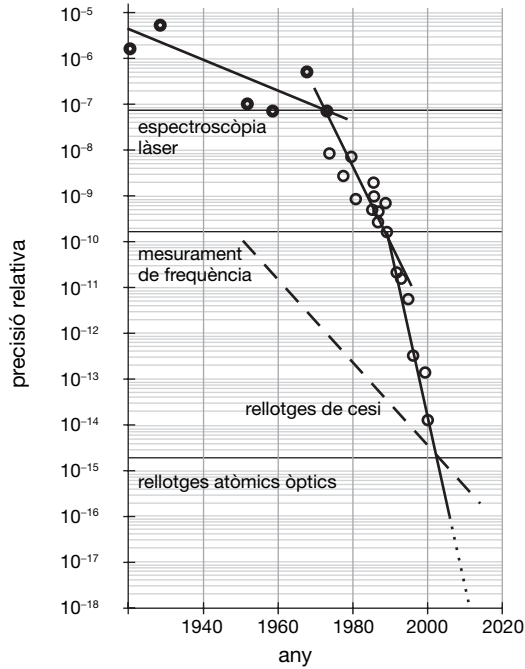


FIGURA 6. Evolució temporal de la precisió relativa en espectroscòpia de precisió.

obtenir la mesura absoluta de la freqüència d'aquesta llum (alguns centenars de THz) en comparació amb el patró primari de cesi, que opera a 9,2 GHz.

J. L. Hall i T. W. Hänsch han liderat un progrés espectacular en el desenvolupament de mètodes per a produir i mesurar freqüències òptiques, amb una precisió actual de quinze xifres significatives i un potencial de divuit, limitada pel soroll quàntic associat a l'emissió espontània de làsers. Aquests tipus de mesures són les que tenen una precisió més gran en tota la física. Cal pensar que una precisió d'una part

en  $10^{15}$  és equivalent a mesurar una distància d'un milió de quilòmetres amb un error d'una micra (figura 6). En aquesta figura 6 s'observen canvis significatius en la pendent de l'evolució temporal de la precisió relativa, que es van produir cap al 1970 amb l'arribada dels làsers sintonitzables, i cap al 1990 amb les mesures absolutes de la freqüència amb el patró de cesi. Actualment, els rellotges atòmics que treballen amb transicions òptiques estan prenent el relleu al rellotge de cesi.

#### QUINES SÓN LES RAONS PER A CONTINUAR AUGMENTANT LA PRECISIÓ I LA RESOLUCIÓ?

Les principals raons són de caràcter fonamental i aplicat. En augmentar la precisió i la resolució s'espera descobrir nova física (*just the next decimal*). La història de l'espectroscòpia atòmica és un paradigma en aquest sentit. La figura 7 mostra part de l'espectre de l'hidrogen i els poders resolutius necessaris per a observar les diverses estructures de nivells. Inicialment, es va descobrir un espectre de línies discret; quan el poder resolutiu assolí  $10^5$  aparegué l'anomenada *estructura fina*, associada amb l'espín de l'electró. Amb el poder resolutiu de  $10^7$  es descobrí l'*estructura hiperfina*, associada a l'espín nuclear, i els desplaçaments de Lamb (*Lamb shifts*), fenòmens de QED associats a fluctuacions quàntiques del buit de radiació.

Partint de l'experiència, tot augmentant la precisió i la resolució, s'espera poder descobrir fenòmens nous no previstos per les teories actuals. Per exemple, actualment s'estan realitzant mesures espectroscòpiques de gran precisió per tal de respondre la pregunta següent: són estables en el temps les constants fonamentals? La constant rellevant, en aquest cas, és l'anomenada *estructura fina*,  $\alpha$ . Els últims resultats expe-

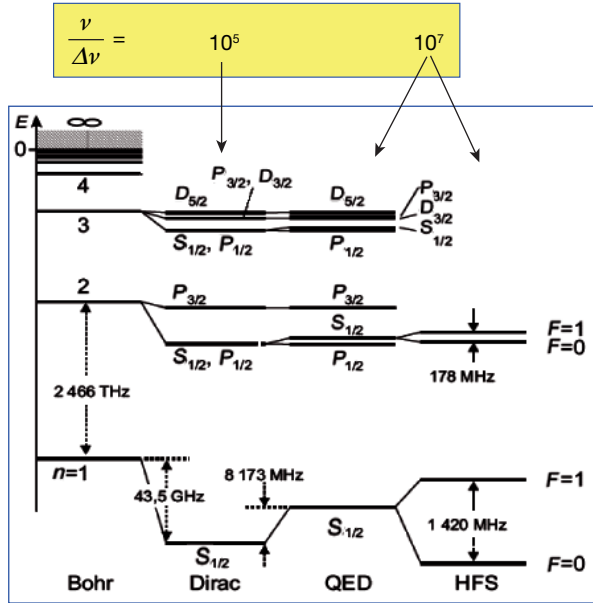


FIGURA 7. Part del diagrama de nivells de l'espectre de l'hidrogen.

rimentals indiquen que, si canvia, la variació relativa en un any és menor de  $10^{-15}$ . Una altra qüestió de gran transcendència, que s'està investigant mitjançant la comparació dels espectres de l'hidrogen i de l'antihidrogen (creat en l'Organització Europea per a la Recerca Nuclear [CERN]), és determinar si existeixen o no asimetries entre matèria i antimatèria. Si no n'existeixen, els espectres de l'hidrogen i de l'antihidrogen han d'ésser idèntics.

També hi ha motivacions de tipus més pràctic. Augmentar la precisió en la determinació de freqüències òptiques implica una millora en els rellotges atòmics, la qual cosa significa millors sistemes GPS, millor navegabilitat, millor control de les xarxes de telescopis astronòmics, etc.

J. L. Hall i T. W. Hänsch han estat autèntics pioners en el camp de l'espectroscòpia làser de precisió, a banda d'haver desenvolupat la tècnica de la pinta de freqüències òptiques. Comentem a continuació alguna de les seves contribucions a l'espectroscòpia de precisió i deixem per al darrer epígraf la pinta de freqüències òptiques.

Al llarg de més de quatre dècades, Hall ha treballat per tal de millorar la precisió i estabilitat amb què els làsers produeixen una freqüència específica. Ha desenvolupat mètodes potents per a estabilitzar la freqüència mitjançant l'ancoratge (*locking*) de la freqüència del làser bé en ressonàncies de transmissió molt estretes de resonadors passius d'elevada finesa, o bé en transaccions atòmiques o moleculars molt estretes. Va fer servir realimentació electrònica. En la dècada de 1960 va desenvolupar un làser d'heli-neó estabilitzat a una transició del metà, amb el qual posteriorment va mesurar la velocitat de la llum amb una precisió cent vegades millor que l'obtinguda fins llavors.<sup>4</sup> En aquest treball va notar que la principal limitació per a la precisió procedia de l'asimetria de la línia a 6.057 àngstroms del criptó, que llavors es feia servir per a definir el metre. Aquests i altres treballs similars conduïren l'any 1983 a un canvi en la definició del metre: es va fixar la velocitat de la llum exactament amb el valor  $c = 299.792.458$  m/s i es va redefinir el metre com la distància que recorre la llum en  $1/299.792.458$  s. Per tant, des de llavors, per a realitzar una mesura absoluta de la longitud d'ona d'un làser cal mesurar-ne la freqüència  $\nu$ , a continuació, dividir  $c$  pel valor mesurat  $\lambda = c/\nu$ . Es planteja, per tant, el problema de mesurar freqüències òptiques,

4. K. M. EVENSON *et al.* (1972).

que, com veurem en l'epígraf següent, va resultar més complicat.

A la vegada, Hänsch ha portat a terme al llarg de més de tres dècades un ampli ventall d'experiments en àrees molt variades de la física atòmica i l'òptica. Per exemple, el 1972, juntament amb A. L. Schawlow (premi Nobel 1981), va realitzar la primera observació òptica del desplaçament de Lamb en l'estat  $n = 2$  de l'hidrogen havent mesurat la freqüència de la transició 1s-2s, la constant de Rydberg i nombrosos desplaçaments de Lamb. La seva determinació més recent de la freqüència de la transició 1s-2s és:<sup>5</sup>

$$f_{1s-2s} = (2\,466\,061\,102\,474\,851 \pm 34) \text{ Hz}$$

Hänsch va ésser també un dels primers a considerar, l'any 1975, el refredament làser en termes teòrics. Cal recordar que S. Chu, C. Cohen-Tannoudji i W. D. Phillips guanyaren l'any 1997 el Premi Nobel per haver desenvolupat aquestes tècniques.

Més recentment, el seu grup ha portat a terme alguns dels experiments més citats amb condensats atòmics de Bose-Einstein (BEC). Per exemple, l'obtenció de BEC en un xip, és a dir, amb un dispositiu experimental de dimensions unes cent vegades inferiors a les dels dispositius habituals.<sup>6</sup> Com també la primera observació experimental d'una transició de fase quàntica, la transició de Mott superfluid-aïllant, amb un BEC atrapat en un potencial òptic periòdic (*optical lattice*).<sup>7</sup>

5. M. FISCHER *et al.* (2004).

6. W. HÄNSEL *et al.* (2001).

7. M. GREINER *et al.* (2002).

Comparada amb el patró primari de cesi, que opera al voltant de  $10^{10}$  Hz, la mesura absoluta de freqüències òptiques, que és de prop de  $10^{15}$  Hz, fou un problema molt complicat. La raó és que, en superposar dues radiacions en un mateix detector fotoelèctric, s'obté un senyal modulat (*beating signal*) a la diferència de freqüències d'aquestes radiacions solament si la diferència no excedeix d'algunes desenes de GHz. Com que la diferència entre les freqüències òptiques i la del patró de cesi és molt més gran que la freqüència de tall dels detectors, no és possible realitzar la mesura absoluta de freqüències òptiques de manera simple. Fins a l'any 2000, amb el desenvolupament de la tècnica de freqüències òptiques per part dels guardonats, la mesura es duia a terme mitjançant cadenes de freqüències per multiplicació d'harmònics (CFMH). Les CFMH són sistemes complexos, formats per molts components diferents, que són difícils de manejar i costosos. Com es veu a la figura 8, el punt de partida d'una CFMH és un oscil·lador de microones (*intermediate oscillator*), la freqüència de la qual pot determinar-se directament

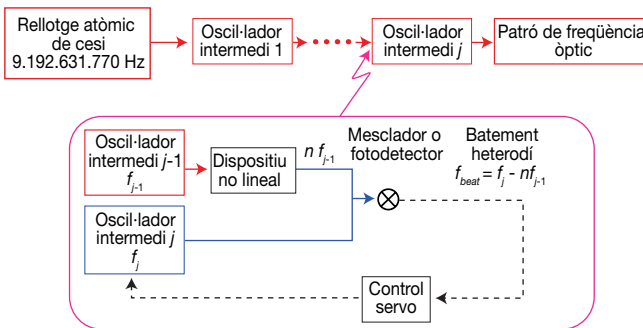


FIGURA 8. Esquema d'una cadena de freqüències per multiplicació d'harmònics.

amb el patró de cesi. A continuació, i mitjançant un dispositiu no lineal adequat, es generen harmònics d'aquest oscil·lador. L'harmònic d'ordre  $n$  es mescla en un detector amb l'oscil·lador intermedi següent de la cadena i el senyal de batement a la freqüència diferència es fa servir per a estabilitzar la freqüència del segon oscil·lador. Tot aquest procés es repeteix fins a connectar el patró de cesi amb el domini òptic de l'espectre. A la pràctica, aquests esforços heroics solament es varen portar a terme en alguns laboratoris dels països científicament més avançats.

Amb el desenvolupament de la tècnica de la pinta de freqüències òptiques el procés de mesurament s'ha simplificat enormement.

#### PINTA DE FREQÜÈNCIES ÒPTIQUES

30

La pinta de freqüències òptiques té dos components essencials: un làser de femtosegons i una fibra òptica de cristall fotònic. Ambdós components han estat desenvolupats per separat, per altres investigadors i amb finalitats diferents. Hall i Hänsch els combinaren adequadament per tal de resoldre el problema de mesurament de freqüències òptiques d'una manera molt flexible, senzilla i elegant. La figura 9 mostra l'esquema làser que emet un tren de polsos d'una durada d'alguns femtosegons ( $1 \text{ femtosegon} = 10^{-15} \text{ s}$ ). La separació entre polsos és molt més gran, d'algunes desenes de nanosegons ( $1 \text{ nanosegon} = 10^{-9} \text{ s}$ ). Per a fer possible aquest tipus d'emissió el làser ha d'acomplir dues missions: 1) ha de poder operar simultàniament amb un gran nombre de modes de la cavitat (diversos centenars de milers), que tenen freqüències equiespaiades. I 2), el medi material del làser ha de tenir una amplada de banda d'amplificació suficientment gran, condició que tenen els materials sòlids com ara el Ti:safir o els líquids



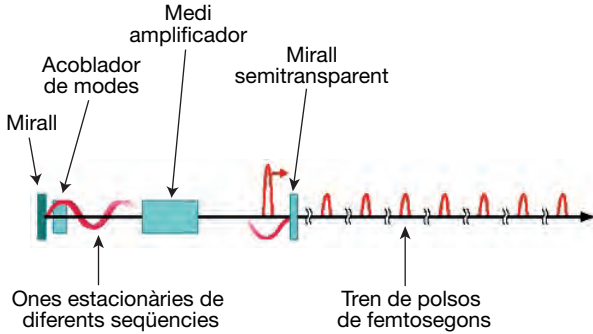


FIGURA 9. Esquema d'un làser de femtosegons.

com els colorants orgànics. A més, els diferents modes de la cavitat han de mantenir entre si una relació de fase constant. D'introduir aquesta coherència entre els modes se n'encarrega l'acoblador de modes (*mode locker*), constituït en molts casos per un medi no lineal amb una no-linealitat de tipus Kerr i un diafragma. Tots els elements que hem esmentat donen el nom complet al làser freqüentment utilitzat en les pintes de freqüències: *Kerr-lens mode-locked femtosecond Ti:sapphire laser* (làser Ti:safir generador de polsos de femtosegons basat en el bloqueig en el mode per l'efecte de lent de Kerr).

La figura 10 mostra imatges de l'emissió del làser, en el domini temporal i en l'espectral. L'espectre d'emissió del làser consisteix en un ampli conjunt de modes amb freqüències equidistants, separades per la freqüència  $\omega_r = 2\pi/T$ , en què  $T$  és el període de temps que separa dos polsos consecutius. Aquest període es pot mesurar fàcilment en relació amb el patró de cesi detectant la seqüència de polsos làser.

L'amplada de banda d'emissió  $\Delta\omega$  depèn del medi amplificador del làser. Quan se sumen coherentment els camps elèctrics de les ones associades als diferents modes s'obté la imatge temporal de l'emissió. Consisteix en una ona portadora

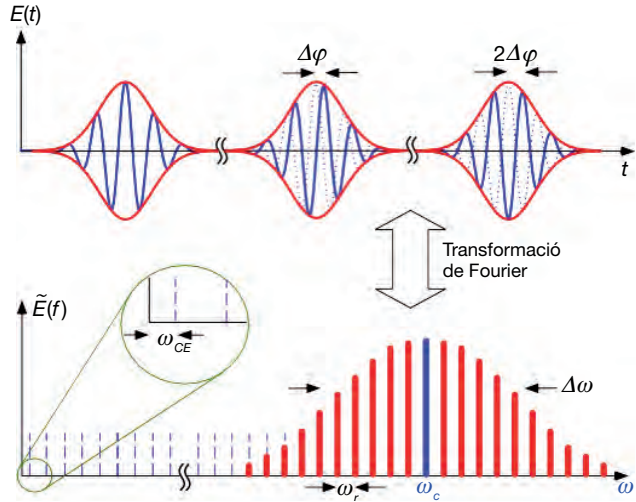


FIGURA 10. Evolució temporal del camp elèctric de l'ona emesa per un làser de femtosegons i composició espectral de l'ona.

32

de freqüència  $\omega_c$ , modulada per una envolupant. Com que la portadora es propaga a la velocitat de fase i l'envolupant a la velocitat de grup, entre polsos consecutius es produeix un desfasament  $\Delta\varphi$  entre la portadora i l'envolupant. Com a conseqüència d'això, la freqüència dels diferents modes no és exactament un múltiple sencer  $n$  de la freqüència de repetició  $f_r = 2\pi\omega_r$ , sinó que hi ha un desplaçament global  $f_{CEO}$ . Per tant,

$$f_n = nf_r + f_{CEO}$$

La determinació experimental de  $f_{CEO}$  resultà més complicada que la de  $f_r$ . Hall i Hänsch trobaren una solució molt enginyosa i elegant a aquest problema, utilitzant el segon element essencial de la pinta de freqüències, la fibra òptica de cristall fotònic (figura 11).

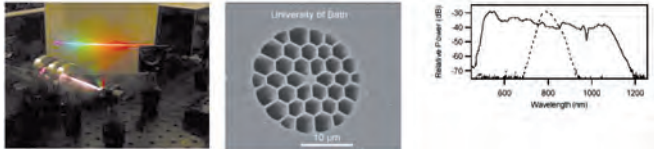
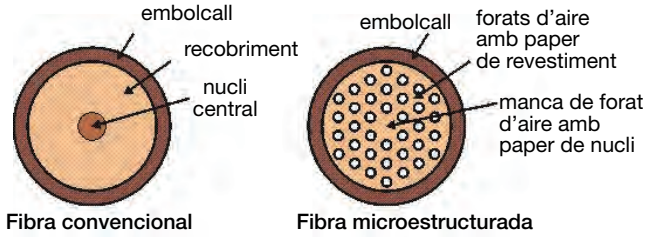


FIGURA 11. A la part superior, esquemes d'una fibra òptica convencional i d'una fibra microestructurada o de cristall fotònic. A la part inferior, al centre, microfotografia d'una fibra òptica de cristall fotònic; a la dreta, s'observa l'espectre de la llum injectada en la fibra i el de la llum emergent; a l'esquerra, la llum a la sortida, dispersada per una xarxa de difracció, cobreix tot l'espectre visible.

Les fibres òptiques convencionals tenen dos materials transparents, el d'índex de refracció més gran forma el nucli central (*core*) i està rodejat del que té l'índex més petit (*cladding*). La llum es propaga pel nucli central, confinada per reflexió total en la superfície de separació amb el *cladding*. A les fibres de cristall fotònic (també anomenades *microestructurades*) el paper del *cladding* el desenvolupa una estructura periòdica de forats d'aire que s'estén al llarg de tota la fibra, i el paper del nucli, un defecte central o manca de forat d'aire en l'estructura periòdica (vegeu també la microfotografia central a la segona fila de la figura 11). La llum es propaga estretament confinada en el defecte central. A més, si es dissenya adequadament l'estructura de forats, es pot obtenir una dispersió cromàtica molt petita que fa que els polsos de llum que es propaguen s'ampliïn molt poc en el

temps. Com a conseqüència de l'acusat confinament espacial i temporal de la llum, la intensitat en el defecte és molt gran i origina fenòmens no lineals molt importants. En concret, mitjançant el procés no lineal de barreja de quatre ones, es generen noves freqüències equidistants amb les que ja estan presents i l'espectre global de la llum a la sortida de la fibra apareix molt ampliat. A la figura 11 això es pot apreciar en els extrems de la fila inferior: a l'esquerra, es veu com la llum a la sortida cobreix tot l'espectre visible; a la dreta, s'observa l'espectre de la llum injectada en la fibra i el de la llum emergent. S'aprecia que aquest últim espectre cobreix un interval més gran que el que va de longitud d'ona  $\lambda$  a la  $2\lambda$ . Aquest últim interval s'anomena *octava* de l'espectre.

Una vegada que disposem d'un espectre de mode que cobreix una octava, podem determinar experimentalment la freqüència  $f_{CEO}$  en la forma esquematitzada a la figura 12.

Generant el segon harmònic del mode  $n$  i superposant-lo en un detector amb el mode  $2n$ , la freqüència de batement proporciona la freqüència diferència, que no és altra que  $f_{CEO}$ .

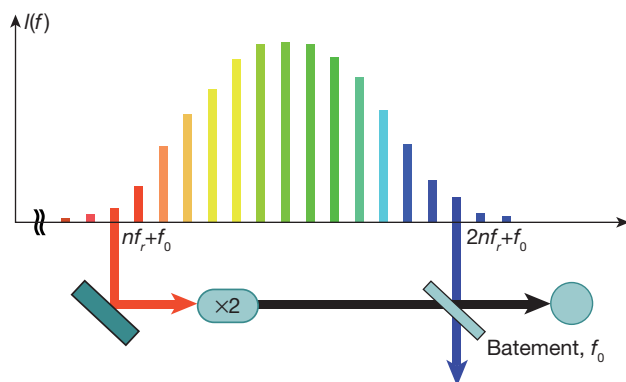


FIGURA 12. Esquema d'una pista de freqüències que abasta una octava de l'espectre i permet determinar  $f_{CEO}$ .

Un cop determinats  $f_r$  i  $f_{CEO}$  en relació amb el patró de cesi tenim ja un coneixement absolut de les freqüències de tots els modes de l'espectre.

El conjunt de tots els modes forma una mena de pinta de freqüències (encara que no totes les seves pues tinguin la mateixa alçada) que cobreix tot l'espectre visible i pot fer-se servir com una regla per a determinar freqüències òptiques desconegudes  $f_{opt}$ . Per fer-ho, basta superposar en un detector la radiació que cal mesurar amb el mode  $n$  de la pinta més propera i determinar la freqüència de batement entre ambdues  $f_{beat}$ . En resulta:

$$f_{opt} = nf_r + f_{CEO} + f_{beat}$$

Aquest tipus de pintes de freqüències ja són disponibles comercialment i s'espera que revolucionin el camp de la metrologia de freqüències i temps.

#### BIBLIOGRAFIA

- EVENSON, K. M. [*et al.*] (1972). «Speed of light from direct frequency and wavelength measurements of the methane-stabilized laser». *Physical Review Letters*, núm. 29, p. 1346-1349.
- FISCHER, M. [*et al.*] (2004). «New limits on the drift of fundamental constants from laboratory measurements». *Physical Review Letters*, núm. 92, p. 230802.
- GLAUBER, R. J. (1963a). «Photon correlations». *Physical Review Letters*, núm. 10, p. 84-86.
- (1963b) «The quantum theory of optical coherence». *Physical Review*, núm. 130, p. 2529-2539.
- (1963c) «Coherent and incoherent states of the radiation field». *Physical Review*, núm. 131, p. 2766-2788.

- GREINER, M. [*et al.*] (2002). «Quantum phase transition from a superfluid to a Mott insulator in a gas of ultracold atoms». *Nature*, núm. 415, p. 39-44.
- HANBURY-BROWN, R.; TWISS, R. Q. (1956). «Correlation between photons in two coherent beams of light». *Nature*, núm. 177, p. 27-32.
- HÄNSEL, W. [*et al.*] (2001). «Bose-Einstein condensation on a microelectronic chip». *Nature*, núm. 413, p. 498-501.
- HENNRICH, M. [*et al.*] (2005). «Transition from antibunching to bunching in cavity QED». *Physical Review Letters*, núm. 94, p. 053604.

#### WEBS

<http://www.nobelprize.org>

<http://www.quantumoptics.at>

<http://www.quantumoptics.net>

<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>

**ELS PREMIS NOBEL**  
**DE L'ANY 2005**  
**SOBRE EL**  
**PREMI NOBEL DE QUÍMICA**  
**CONCEDIT A**  
**YVES CHAUVIN, RICHARD R. SCHROCK**  
**I ROBERT H. GRUBBS,**  
**PER ANTONI RIERA,**  
**CATEDRÀTIC DE QUÍMICA ORGÀNICA**  
**DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA**  
**I INVESTIGADOR DE L'INSTITUT**  
**DE RECERCA BIOMÈDICA (IRB BARCELONA)**

**LA METÀTESI D'OLEFINES, UNA NOVA EINA  
PER A LA SÍNTESI ORGÀNICA**

**RESUM**

El Premi Nobel de Química de l'any 2005 es va atorgar a Yves Chauvin, Robert H. Grubbs i Richard R. Schrock pels seus treballs en el camp de la metàtesi d'olefines (alquens). Aquest tipus de reacció consisteix en el bescanvi de fragments d'alquè i ja s'emprava industrialment per a la fabricació de polímers i en la indústria petroquímica. No obstant això, els treballs dels guardonats n'han permès la utilització en síntesi orgànica mitjançant el desenvolupament de catalitzadors organometàl·lics estables i definits. La comercialització d'aquests catalitzadors n'ha generalitzat l'ús en l'última dècada, cosa que ha suposat una autèntica revolució en el disseny de la síntesi orgànica.

38

**PARAULES CLAU:** metàtesi, olefines, alquens, catalitzadors organometàl·lics.

**ABSTRACT**

The 2005 Nobel Prize in Chemistry was awarded to Yves Chauvin, Robert H. Grubbs and Richard R. Schrock for their works on the field of olefine (alkene) metathesis. This kind of reactions consist of the exchange of alkene fragments and was already used in the industrial preparation of polymers and also in the petrochemical industry. However, the work of the awardees has allowed the application of metathesis in organic synthesis by the development of stable, defined organometallic catalysts. The marketing of such catalysts has generalized their use over the last decade, which has meant a great revolution in organic synthesis design.



KEY WORDS: metathesis, olefines, alkenes, organometallic catalysts.

El Premi Nobel de Química de l'any 2005 ha estat atorgat a Yves Chauvin, Richard R. Schrock i Robert H. Grubbs per la seva contribució als mètodes de metàtesi en síntesi orgànica (figura 1). Per a la gran majoria dels químics orgànics, i molt especialment per a aquells que treballem en el camp de la síntesi orgànica, aquesta designació no ha estat cap sorpresa: l'impacte que han tingut els catalitzadors desenvolupats per Schrock i Grubbs ha estat tan gran que no hi havia dubte que tard o d'hora el Premi Nobel recauria sobre ells. Sí que ha estat una sorpresa, en canvi, el fet que el comparteixin amb Yves Chauvin, ja que la seva contribució va ser molt a l'inici d'aquesta recerca i d'això ja fa trenta-cinc anys. Més endavant comentaré aquest aspecte amb detall. A continuació intentaré explicar què és la metàtesi d'olefines, qui són els investigadors guardonats, quina ha estat la seva contribució i, finalment, comentaré l'impacte que, al meu parer, ha tingut aquesta contribució en el disseny de la síntesi orgànica.

39



FIGURA 1. D'esquerra a dreta, Yves Chauvin, Robert H. Grubbs i Richard R. Schrock. Fotografies: Copyright © The Nobel Foundation.

## QUÈ ÉS LA METÀTESI D'OLEFINES?

Segons el *Diccionari de la llengua catalana* de l'Institut d'Estudis Catalans, una metàtesi és una «reacció entre dos compostos amb bescanvi d'elements i formació de dos nous compostos». En el cas de dues olefines (alquens), una reacció de metàtesi implica l'intercanvi dels fragments per a conduir a noves olefines amb els grups intercanviats. Per exemple, si sotmetem una olefina disubstituída  $R_1-CH=CH-R_2$  a un catalitzador de metàtesi obtindrem una mescla de les tres olefines possibles (figura 2). Òbviament, si fem la reacció entre dues olefines internes diferents podem arribar a obtenir una mescla de fins a deu olefines sense comptar la isomeria del doble enllaç (figura 2).

40

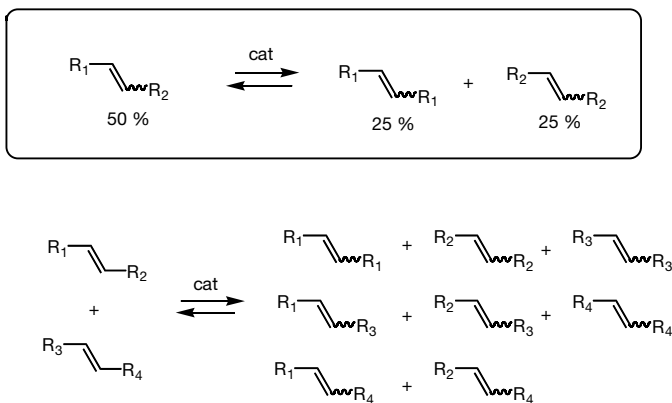


FIGURA 2. Mescles de tots els isòmers olefínics que es poden obtenir per metàtesi.

Aquest tipus de reaccions tenen una gran importància industrial i es van desenvolupar principalment en la indústria petroquímica en la dècada dels seixanta. El procés Shell d'oligomerització d'olefines (*Shell higher olefins process*, SHOP),

per exemple, es va desenvolupar per produir alquens a partir de l'etilè. Aquest procés inclou un pas de metàtesi creuada que permet convertir la fracció d'olefines massa lleugera ( $C_4$ - $C_7$ ) i la massa alta (més  $C_{20}$ ) en una fracció d'olefines intermèdia ( $C_8$ - $C_{20}$ ), que és la que té una demanda més gran.

Uns altres processos de metàtesi d'olefines de gran transcendència industrial són els de polimerització d'olefines cícliques. La polimerització per metàtesi amb obertura d'anell (ROMP) i s'empra en la preparació de polímers elàstics. Així, per exemple, en el procés Norsorex es polimeritza norbornè per obtenir un polímer que es fa servir en la fabricació de pneumàtics (figura 3). No és estrany, doncs, que Yves Chauvin, el guardonat de més edat, treballés a l'Institut Français du Pétrole (IFP) quan va fer la seva contribució al tema.

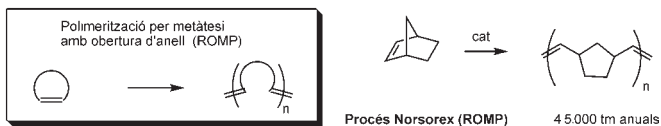


FIGURA 3. Polimerització per metàtesi amb obertura d'anell (ROMP).

## YVES CHAUVIN

Yves Chauvin va néixer el 1930 i va estudiar a l'École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lió. Va ser investigador de l'IFP entre 1960 i 1995, anys en què va desenvolupar diversos processos de polimerització d'olefines. El més conegut és el procés Dimersol, que produeix dímers de propè i butè i del que hi ha més de trenta plantes al món. Ara ja fa deu anys que es va retirar de l'IFP; no obstant això, ha continuat treballant com a director de recerca emèrit de l'École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lió.

## QUIN ÉS EL MECANISME DE LA METÀTESI?

Entre els anys 1965-1975, Chauvin, a conseqüència del seu treball en polimerització d'olefines, es va interessar pel mecanisme de la metàtesi, que, aleshores, no es coneixia en absolut. Els catalitzadors més emprats eren mescles de compostos inorgànics de metalls de transició amb compostos d'alumini o silici. Per exemple:  $WO_3/SiO_2$ ,  $WCl_6/AlEt_2Cl$  o  $MoCl_5/AlX_nR_3$ . No eren, per tant, molecularment definits. En aquells anys, diversos investigadors van proposar mecanismes per a la reacció de metàtesi. Per exemple, N. Calderon, investigador de la companyia The Goodyear Tire and Rubber Co., en va proposar un que implicava un ciclobutadiè coordinat amb el metall. El 1970, moment en què el mecanisme estava molt obert a debat, Chauvin proposa el mecanisme que reproduïm a la figura 4, en uns articles a *Makromolekulare Chemie* i a la revista de l'IFP.

42

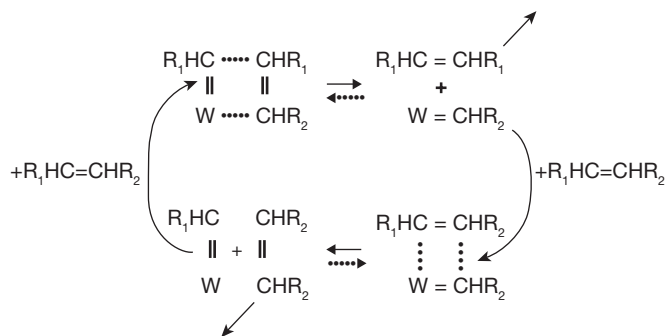


FIGURA 4. Mecanisme de la metàtesi proposat per Chauvin l'any 1970.

Segons aquest mecanisme, el metall (en aquest cas, tungstè) formava un alquilidè metàl·lic que era la veritable espècie catalítica. Aquest alquilidè reaccionava amb una olefina mitjançant una reorganització d'enllaços que implicava

un metal·lacicle de quatre baules. L'alquilidè format continuava reaccionant fins a arribar a la mescla estadística d'olefines.

L'alquilidè metàl·lic proposat per Chauvin ( $W = CH-R$ ) no tenia, en aquell moment, precedents en la literatura, tot i que avui dia no el trobaríem tan estrany i el considerariem un *carbè metàl·lic*. Un carbè és un compost neutre amb carboni divalent i sis electrons a la capa de valència. Els carbens tenen, per tant, dos electrons no enllaçants i poden tenir diverses configuracions electròniques. Molts carbens tenen una vida mitjana molt curta i són, en realitat, espècies reactives intermèdies. Aquest és el cas del carbè pròpiament dit, també anomenat *metilè* ( $CH_2$ ), que es genera per descomposició del diazometà. Actualment es coneixen carbens molt estables. El més conegut és l'anomenat *carbè d'Arduengo*, que està estabilitzat per la presència dels dos nitrògens veïns i per l'impediment estèric dels voluminosos grups adamantil (figura 5). Els carbens estables no eren coneguts en aquell temps, tot i que es coneixien alguns carbens metàl·lics estables. E. O. Fischer havia descobert el 1964 uns compostos organometàl·lics que tenien una estructura de carbè estabilitzat per un metall. Aquests compostos s'anomenen *carbè de Fischer*, són molt estables i es caracteritzen per tenir el metall, generalment Cr, W o Fe, en un estat baix d'oxidació i el fragment carbènic amb grups donadors d'electrons (figura 5). L'alquilidè proposat per Chauvin no tenia, per tant, un precedent clar en la literatura i encara menys en tenia la reacció d'aquest amb olefines.

43

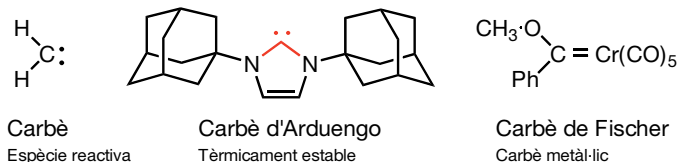


FIGURA 5. Tipus estructurals de carbens.

En aquest punt és quan les contribucions de Richard R. Schrock esdevenen fonamentals.

#### RICHARD R. SCHROCK

Richard R. Schrock va néixer a Indiana el 1945, però es va llicenciar en química a la Universitat de Califòrnia a Riverside (1967). Després dels estudis de doctorat a Harvard sota la direcció de J. A. Osborn i d'una estada postdoctoral a la Universitat de Cambridge amb Lord Jack Lewis, el 1972 entra a treballar als laboratoris de recerca de la companyia Du Pont de Nemours. El 1975 deixa Du Pont per incorporar-se al prestigiós Massachusetts Institute of Technology (MIT), on és *full professor* des de 1980.

44

#### ELS CARBENS DE SCHROCK

Chauvin acabava de publicar el seu mecanisme quan R. R. Schrock va entrar a treballar a Du Pont. En els laboratoris d'aquesta companyia rep l'encàrrec de treballar en la química d'un metall de transició molt poc conegut: el tàntal. Com que el pentaclorur de tàntal era accessible, Schrock va voler preparar diversos derivats organometàl·lics a partir d'aquest. Va preparar el  $\text{Ta}(\text{CH}_3)_5$ , però va resultar volàtil i inestable. Aleshores va preparar el  $\text{Ta}(\text{CH}_2\text{-Ph})_5$  que, amb gran satisfacció per part seva, va resultar estable a temperatura ambient. En aquest punt va voler completar la sèrie (els substituents no podien tenir protons amb beta) amb la preparació del pentaneopentil tàntal:  $\text{Ta}(\text{CH}_2\text{-CMe}_3)_5$ . Afortunadament, no va obtenir el producte volgut sinó que va aïllar un compost inesperat, el compost carbènic:  $(\text{Me}_3\text{CCH}_2)_3\text{Ta} = \text{CHCMe}_3$ . El pentaneopentil tàntal havia eliminat neopentà i

s'havia format un carbè metàl·lic amb un estat alt d'oxidació, molt diferent dels carbens de Fischer ja coneguts. De fet, era el primer exemple de carbè metàl·lic amb un protó en el carboni carbènic. El compost va resultar ser estable tèrmicament, amb un punt de fusió de 70 °C (figura 6).

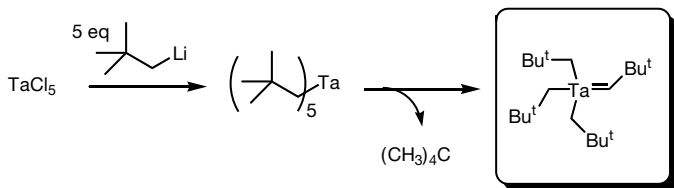


FIGURA 6. Preparació del primer carbè metàl·lic amb un estat alt d'oxidació.

Aquesta troballa, l'any 1974, va marcar l'inici del descobriment de la química dels carbens metàl·lics amb alt estat d'oxidació en el metall. Des d'aleshores, s'han preparat molts complexos d'aquest tipus i se n'ha estudiat la reactivitat i l'activitat catalítica. Avui dia aquests compostos es descriuen a la comunitat científica com a *carbens de Schrock*.

La preparació dels carbens metàl·lics de tàntal va fer pensar a Schrock que en aquest tipus de compostos l'àtom carbènic havia de ser nucleòfil i que podia tenir relació amb les espècies que catalitzaven la reacció de metàtesi d'olefines. Amb les seves pròpies paraules, l'any 1975 es va fer la pregunta següent: «Do the high-oxidation-state species that have been discovered have anything to do with olefin metathesis?». El 1975, va deixar Du Pont per incorporar-se al MIT a Boston per intentar esbrinar-ho.

Va tardar cinc anys a poder-ho demostrar. El 1980 Schrock descriu un complex de tàntal, (PMe<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(*t*-BuO)<sub>2</sub>ClTa=CHPh, capaç de catalitzar la metàtesi del *cis*-2-pentè a 2-butens i 3-hexens en presència de PMe<sub>3</sub> durant 25-30

cicles catalítics (*turnovers*). A més, per primera vegada es podia aïllar un alquilidè anèleg a l'inicial després de la reacció amb olefines. Això demostrava, sens dubte, que aquestes espècies eren els autèntics catalitzadors de la metàtesi. No obstant això, els complexos de tàntal no permetien anar gaire més enllà. Schrock va decidir canviar de metall i explorar altres complexos anèlegs.

Després de deu anys més de recerca, Schrock descriu el 1990 uns carbens metàl·lics de molibdè capaços de catalitzar la polimerització d'olefines cícliques (ROMP): es tractava dels primers catalitzadors de metàtesi estables i definits (figura 7).

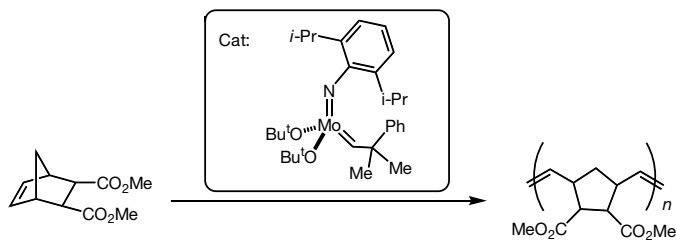


FIGURA 7. Primera polimerització d'olefines amb obertura d'anell (ROMP) mitjançant un catalitzador estable i definit.

### RING-CLOSING METATHESIS

Fins ara hem vist que la reacció de metàtesi podia servir per isomeritzar olefines o per polimeritzar-ne de cícliques. Una possibilitat encara més senzilla és emprar olefines terminals. La combinació dels dos fragments metilènics forma etilè que s'evapora del medi. Això té dos efectes beneficiosos: elimina una de les combinacions del medi simplificant el cru i desplaça l'equilibri cap als productes. D'aquesta manera, s'obtenen uns crus molt més nets, on el producte majoritari és l'olefina que combina els dos fragments «interns» de les olefines de partida.



És el que s'anomena *cross-metathesis* o metàtesi creuada (figura 8). Els subproductes principals són, naturalment, els dímers de les olefines de partida. Una variant d'aquesta reacció encara més eficient i que condueix a millors rendiments i a crus molt millors consisteix a fer la reacció intramolecularment; és a dir, emprant un diè com a producte de partida. En aquest cas, la metàtesi condueix el producte cíclic amb molta selectivitat: és el que s'anomena *ring-closing metathesis* (RCM) o metàtesi amb tancament d'anell (figura 8).

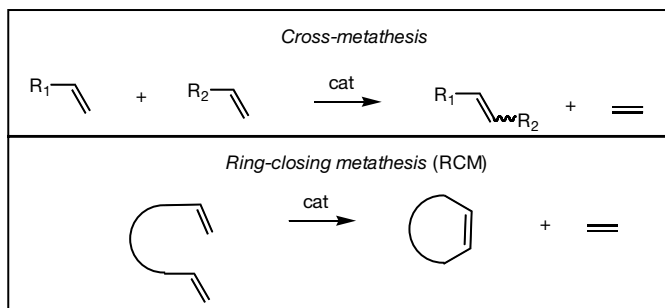


FIGURA 8. Metàtesi creuada (*cross-metathesis*) d'olefines terminals i metàtesi amb tancament d'anell (*ring-closing metathesis*, RCM).

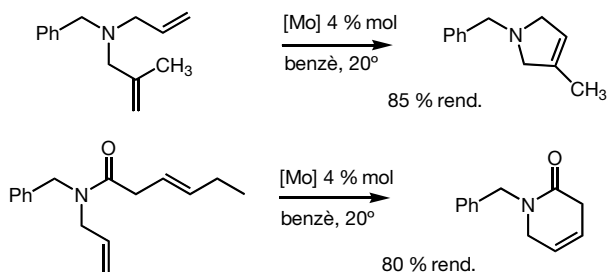


FIGURA 9. Primers exemples de metàtesi amb tancament d'anell (RCM) mitjançant un catalitzador de molibdè desenvolupat per Schrock.

Els catalitzadors de molibdè desenvolupats per Schrock van resultar molt actius en reaccions de metàtesi, fet que va fer la RCM molt útil sintèticament. S'havia descobert una nova manera de preparar compostos cíclics molt eficient i amb bons rendiments (figura 9).

El mecanisme de la reacció va ser objecte de debat durant molts anys. La proposta de Chauvin no va ser plenament acceptada fins a deu anys més tard de la seva publicació. Aquest mecanisme, expressat d'una manera més moderna i aplicat a la RCM, permet formular el cicle catalític que es mostra a la figura 10.

48

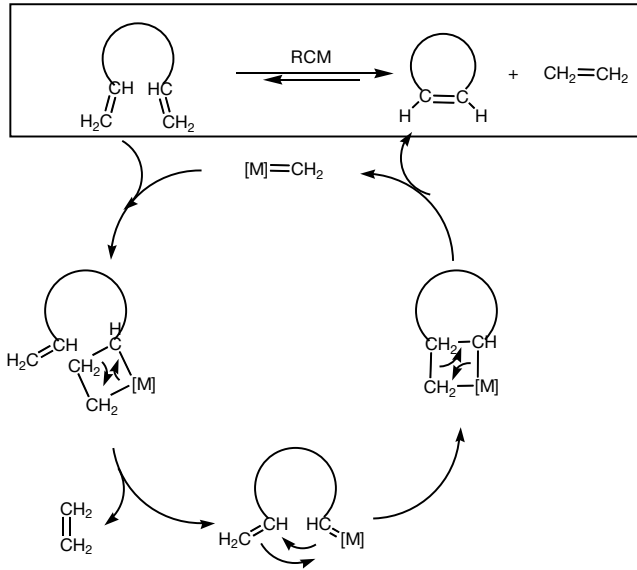


FIGURA 10. Mecanisme Chauvin de la metàtesi amb tancament d'anell (RCM) representat de forma moderna.

Tot i que probablement el seu article no va contribuir decisivament al desenvolupament de la metàtesi, la comuni-

tat científica li va reconèixer que va ser el primer a formular el mecanisme i, per aquest motiu, diversos autors l'anomenaven *mecanisme Chauvin*. Un exemple d'aquesta controvèrsia és l'article de Robert H. Grubbs a l'*Inorganic Chemistry*, l'any 1979, on conclou: «As can be seen, the Chauvin mechanism is not inconsistent with the thermodynamic calculations and remains as the mechanism most compatible with a large body of other experimental investigations». Així doncs, pels anys noranta, quan els catalitzadors de Schrock van mostrar el seu potencial sintètic, Robert H. Grubbs ja feia anys que treballava en la metàtesi d'olefines.

#### ROBERT H. GRUBBS

Nascut el 27 de febrer de 1942 a Calvert City (Kentucky), va estudiar química a la Universitat de Florida (Gainesville). Entre 1965 i 1968 va fer el doctorat a la Universitat de Colúmbia (Nova York) sota la direcció de Ronald Breslow. Després d'un any d'estada postdoctoral amb James Collman a la Universitat de Stanford (Califòrnia), es va incorporar com a *associate professor* a la Universitat Estatal de Michigan. Des de 1978 és professor al California Institute of Technology (Caltech).

El professor Grubbs va entrar en el tema de la metàtesi a partir dels seus treballs amb el reactiu de Tebbe. Aquest compost de titani és un conegut reactiu de metilenciació: converteix grups carbonils en olefines terminals intercanviant l'oxigen per un grup metilè. El reactiu de Tebbe es forma en mesclar diclorotitanocè amb dos mols de trimetilalumini. Grubbs va demostrar que per tractament amb una base es forma un carbè de titani. Aquest carbè metàl·lic és capaç de reaccionar amb compostos carbonílics mitjançant un mecanisme que recorda el de Chauvin, però amb un dels

extrems del doble enllaç ocupat per un àtom d'oxigen. Grubbs va estudiar la reactivitat del carbè de titani amb olefines i va demostrar que es formen titanaciclobutans. Ara bé, només en el cas d'olefines molt tensades, com el dimetilciclopropè, va aconseguir preparar un catalitzador actiu per a la polimerització d'alquens cíclics (ROMP) (figura 11).

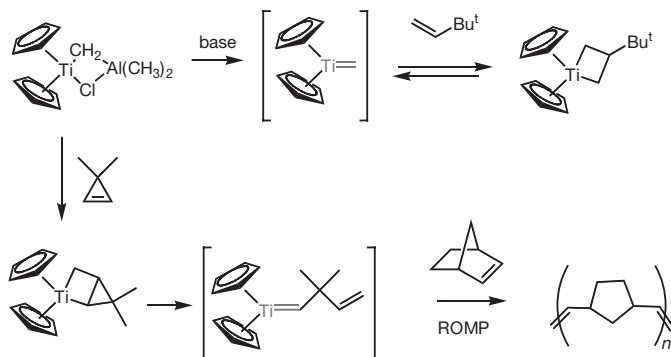


FIGURA 11. Primers intents de reaccions de metàtesi mitjançant complexos de titani.

La gran oxofília dels complexos de titani feia que aquests catalitzadors fossin poc actius i poc compatibles amb altres grups funcionals. Malgrat tot, Grubbs va descriure diverses síntesis emprant reactius de titani fins que va decidir explorar un altre metall de transició: el ruteni.

La capacitat del ruteni per a polimeritzar olefines era coneguda des dels anys seixanta. El 1965, Natta ja havia descrit que el ciclobutè i el metilciclobutè s'obrien i es polimeritzaven mitjançant triclorur de ruteni en medis pròtics. L'ús del  $\text{RuCl}_3$  com a catalitzador de ROMP es va generalitzar els anys setanta. De fet, el procés Norsorex, comentat anteriorment (avui de l'empresa Atofina), es basa en triclorur de

ruteni. Malgrat que tots aquests treballs d'aplicacions industrials tenien poca influència en el món acadèmic, Grubbs s'hi va interessar i va reexaminar aquesta reacció emprant derivats del 7-oxanorbornè com a substrats. Va observar que la reacció tenia lloc després d'un període d'incubació relativament llarg i que les dissolucions continuaven sent actives, ara sense període d'incubació. Era evident que en el si de la reacció es formava un complex organometàl·lic d'estructura desconeguda que era el veritable catalitzador. Grubbs també va observar que aquests complexos de ruteni eren molt més resistents a l'aire i a la humitat que els de molibdè i es va dedicar a la preparació de carbens metàl·lics de ruteni. El primer complex carbènic de ruteni que va aïllar és el de la part superior de la figura 12. Malauradament, no va resultar actiu en reaccions ni de polimerització ni de RCM. Però això no el va desanimar i va continuar preparant nous complexos. Una petita modificació en el complex inicial va resultar decisiva: en intercanviar els lligands trifenílfosfina per triciclohexilfosfina va obtenir el primer catalitzador de ruteni estable i extremament actiu en reaccions de metàtesi (figura 12).

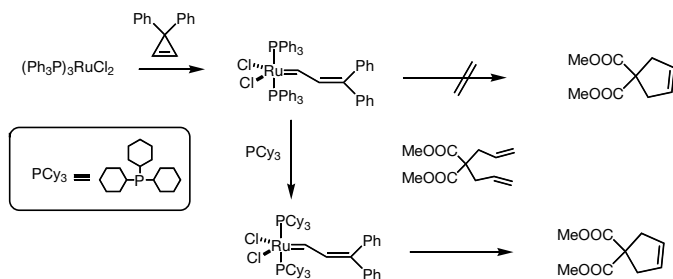


FIGURA 12. Desenvolupament del primer catalitzador de ruteni actiu en reaccions de metàtesi.

Amb el temps s'ha anat comprovant que els diferents complexos carbènics de metalls de transició mostren una

reactivitat diferent enfront dels diversos grups funcionals. En la sèrie titani, tungstè, molibdè i ruteni, el caràcter oxofílic disminueix, mentre que la reactivitat relativa amb olefines augmenta. Aquesta és la causa per la qual els complexos de ruteni són els més reactius enfront d'olefines i els més tolerants amb els altres grups funcionals.

El complex de ruteni desenvolupat per Grubbs no era un compost senzill de preparar. Grubbs va tenir clar des del primer moment que era molt important disposar d'una preparació eficient del catalitzador si es volia que fos un reactiu d'ús general. Els seus esforços es van encaminar a buscar un compost que es pogués preparar industrialment. Finalment, va descriure i patentar un complex sòlid, estable a l'aire, molt actiu com a catalitzador de metàtesi i que es podia preparar a l'escala de 10 kg sense problemes: és el que s'anomena *catalitzador de Grubbs de primera generació* (figura 13).

Les possibilitats d'aquest catalitzador no van passar desapercibudes a Grubbs, que va fundar l'any 1997 l'empresa Materia, per preparar-lo i comercialitzar-lo.

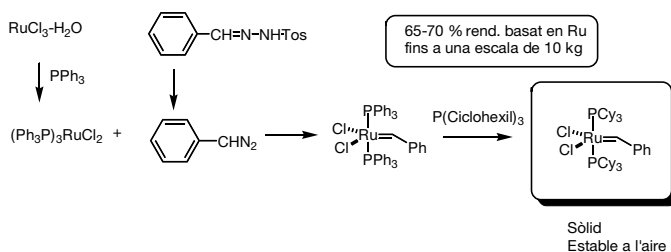
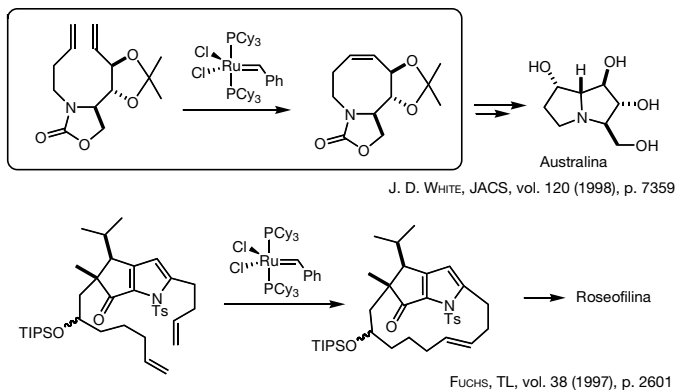


FIGURA 13. Preparació del catalitzador de Grubbs de primera generació.

La comercialització d'aquest catalitzador va representar un autèntic *boom* per a les reaccions de metàtesi, ja que un gran nombre d'investigadors a tot el món van començar a emprar-lo i a buscar-ne noves aplicacions. A la figura 14 hi podem veure dues síntesis aparegudes poc després, on es fa servir la RCM per a la preparació de molècules complexes. Cal notar que no és necessari que l'anell sigui de cinc o sis baules: la reacció permet construir gairebé qualsevol mida d'anell i no només les termodinàmicament més favorables.



53

FIGURA 14. Exemples d'aplicació de la metàtesi amb tancament d'anell (RCM) en síntesis complexes.

En el nostre grup de recerca (Unitat de Recerca en Síntesi Asimètrica — Parc Científic de Barcelona [URSA-PCB]) s'han preparat diversos compostos amb activitat biològica mitjançant la reacció de la RCM. Entre els quals destacarem la dihidroxiprolina, la baikiana i diversos azasucres amb activitat com a inhibidors de glicosidases, com ara la desoximanojirimicina i la swainsonina. A tall d'exemple, la

nostra aproximació a la síntesi d'inhibidors de glicosidases es va dissenyar perquè partís d'un intermedi clau que se sintetitzava mitjançant una reacció de la RCM (figura 15). Mentre treballàvem amb la seva síntesi en van aparèixer tres més en la literatura, totes, però, necessitaven de dotze a quinze passos sintètics per a la seva preparació. La nostra síntesi, en canvi, tenia lloc en només quatre passos i amb rendiments excel·lents. Aquest és un dels molts exemples en què la reacció de metàtesi ha permès fer una síntesi més curta i eficient.

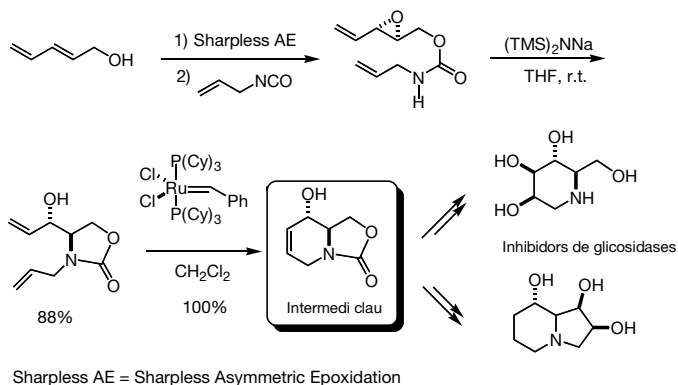


FIGURA 15. Aplicació de la metàtesi amb tancament d'anell (RCM) per a la síntesi d'inhibidors de glicosidases.

Tot i que pel que fa a la síntesi de molècules petites la RCM ha esdevingut una eina molt poderosa, s'han estudiat altres processos de metàtesis que també han trobat aplicacions. A la figura 16 es mostra un resum dels principals processos de metàtesi. Com es pot veure, la metàtesi d'enins (ERCM) o d'alquins (ARCM) també és possible i es pot intuir que presenta importants avantatges sintètics.



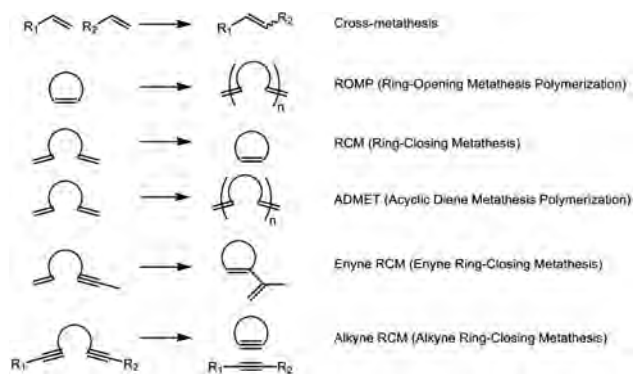


FIGURA 16. Tipus de reaccions de metàtesi.

En els últims anys, la metàtesi ha estat una de les reaccions més estudiades i emprades. Els treballs bàsics d'estudis mecanístics i de desenvolupament de nous lligands s'han superposat a una intensa utilització de la reacció per grups de recerca dedicats a la síntesi. És impossible ni tan sols comentar una petita part de la recerca que s'ha descrit. Els estudis mecanístics han confirmat la validesa del mecanisme proposat per Chauvin i han aprofundit en la seva comprensió. Avui dia se sap que un dels dos lligands fosfina s'intercanvia per l'alquè en els estadis inicials de la reacció, mentre que l'altre queda sempre ancorat al ruteni. Això ha permès el desenvolupament de nous complexos amb lligands més resistents, com ara carbens estables. Aquests nous complexos són doblement carbènics, amb un lligand carbènic estable i un d'instable. Entre els diversos lligands desenvolupats, el de Grubbs és, un cop més, el més actiu i resistent. S'anomena en l'àmbit de la química orgànica *catalitzador de Grubbs de segona generació* (figura 17).

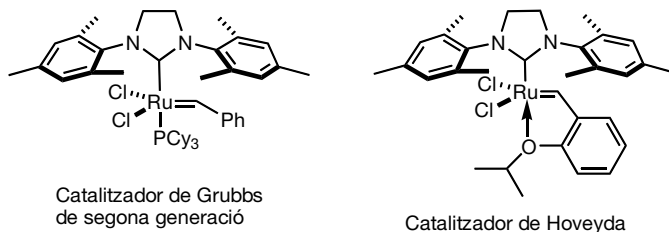


FIGURA 17. Catalitzadors de ruteni amb dos tipus de lligands carbènics.

D'altra banda, Schrock ha continuat treballant amb els seus catalitzadors de molibdè. Aquests catalitzadors tenen el desavantatge que són molt més sensibles a l'aire i a la humitat que els de ruteni. No obstant això, en tenir lligands alcòxids, la incorporació de la quiralitat és molt més fàcil. Així, en col·laboració amb Amir Hoveyda, ha desenvolupat compostos capaços de promoure la RCM enantioselectivament (figura 18).

56

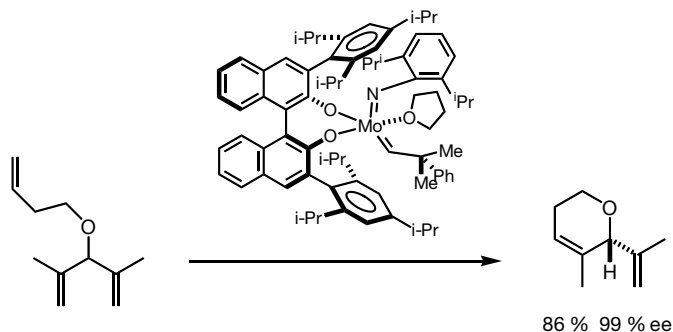


FIGURA 18. Exemple de metàtesi d'olefines enantioselectiva.

Els avenços recents han estat espectaculars. S'han preparat i descrit molts altres complexos actius. N'hi ha fins i tot de solubles en aigua. Altres investigadors com Hoveyda o Fürstner han preparat catalitzadors anàlegs amb reactivitat

similar. Però el que és més espectacular és la gran quantitat de síntesis de molècules complexes, moltes amb important activitat biològica, que s'han preparat incloent a la síntesi un o més passos de metàtesi d'olefines. La fiabilitat i facilitat experimental han fet d'aquesta reacció una de les més emprades en la construcció d'enllaços carboni-carboni, la qual cosa ha conduït al fet que molts principis del disseny de síntesi hagin quedat obsolets. Així, una de les regles bàsiques de l'anàlisi retrosintètica diu que, en compostos cíclics, els enllaços carboni-heteroàtom són estratègics. Per tant, en lactones i lactames, la primera desconnexió seria la formació de l'enllaç èster o amida. Per exemple, si considerem una macrolactona com la lasiodiplodina, la desconnexió *a* seria la lògica (figura 19). Doncs bé, el desenvolupament de la RCM ha fet possible que es desconnectés en primer lloc l'enllaç *b*. Fixem-nos que, segons les normes heurístiques «clàssiques», aquest enllaç no seria mai estratègic, ja que no té cap heteroàtom ni tan sols a prop.

57

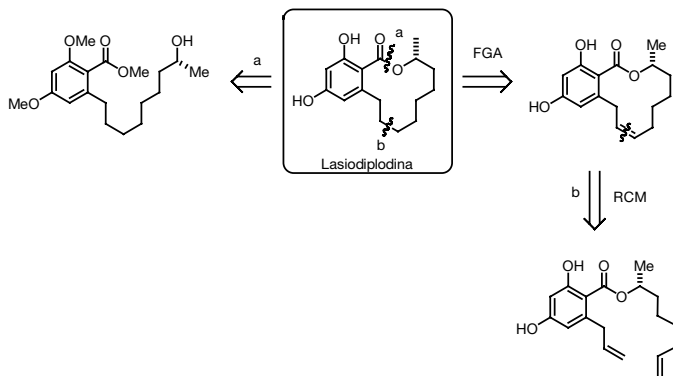


FIGURA 19. Anàlisi retrosintètica basada en una reacció de metàtesi.

Finalment, cal remarcar que, malgrat que la contribució dels tres guardonats ha estat molt significativa, la consecució d'aquests avenços extraordinaris ha estat fruit del tre-

ball de centenars d'investigadors. Si donem una ullada a les publicacions científiques sobre metàtesi d'olefines trobarem 5.100 referències signades per 7.983 coautors! Si les ordenem per anys, veurem que el creixement exponencial s'inicia el 1997, quan Grubbs funda l'empresa Materia i es comença a comercialitzar el catalitzador de Grubbs de primera generació. Si analitzem les referències per autors, veurem que el més prolífic és Grubbs amb 222. Schrock en té al voltant de setanta, però hi ha diversos grups de recerca (Hoveyda, Fürstner, Blechert...) que en tenen un nombre semblant. No hi ha dubte, doncs, que la clau per a entendre l'enorme impacte de la metàtesi d'olefines en la síntesi orgànica ha estat el desenvolupament de catalitzadors estables i la seva comercialització, fet que ha facilitat que centenars de grups de recerca hi hagin pogut treballar.

## BIBLIOGRAFIA

- CHAUVIN, Yves; GAILLARD, Jean; VAN-LANDEGHEM, Hugo; WAUQUIER, Jean-Pierre (1972). «Dimérisation en phase homogène». *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, vol. 27 (4), p. 597-618.
- GRUBBS, R. H. (1979). «Mechanism of olefin metathesis and cyclopropanation». *Inorganic Chemistry*, vol. 18 (9), p. 2623.
- HÉRISSON, J.-L.; CHAUVIN, Y.; LEFEBVRE, G.; NHU-HUNG Phung (1969). «Transformation des oléfines acycliques par les catalyseurs homogènes à base de tungstène». *C. R. Acad. Sc. Paris, Série Chimie*, t. 269, p. 661-664.
- HÉRISSON, J.-L.; CHAUVIN, Y. (1971). «Catalysis of olefin transformations by tungsten complexes. II. Telomerization of cyclic olefins in the presence of acyclic olefins». *Die Makromolekulare Chemie*, vol. 141, p. 161-176.

- KIM, S. H.; FIGUEROA, I.; FUCHS, P. L. (1997). «Application of the Grubbs ring-closing metathesis for the construction of a macrocyclic ansa-bridge. Synthesis of the tricyclic core of roseophilin». *Tetrahedron Letters*, vol. 38, p. 2601-2604.
- SCHOLL, M.; DING, S.; LEE, C. W.; GRUBBS, R. H. (1999). «Synthesis and activity of a new generation of ruthenium-based olefin metathesis catalysts coordinated with 1,3-dimesityl-4,5-dihydroimidazol-2-ylidene ligands». *Organic Letters*, vol. 1 (6), p. 953-956.
- SCHROCK, R. R. (1975). «The first isolable transition metal methylene complex and analogs. Characterization, mode of decomposition, and some simple reactions». *Journal of the American Chemical Society*, vol. 97, p. 6577-6578.
- SCHROCK, R. R.; MCLAIN, S. J.; SANCHO, J. (1980). «Tantalacyclopentane complexes and their role in the catalytic dimerization of olefins». *Pure and Applied Chemistry*, vol. 52, p. 729-732.
- SCHROCK, R. R.; MURDZEK, J. S.; BAZAN, G. C.; ROBBINS, J.; DIMARE, M.; O'REGAN, M. (1990). «Synthesis of molybdenum imido alkylidene complexes and some reactions involving acyclic olefins». *Journal of the American Chemical Society*, vol. 112, p. 3875-3886.
- SCHWAB, P.; GRUBBS, R. H.; ZILLER, J. W. (1996). «Synthesis and applications of  $\text{RuCl}_2(=\text{CHR}')(\text{PR}_3)_2$ : the influence of the alkylidene moiety on metathesis activity». *Journal of the American Chemical Society*, vol. 118, p. 100-110.
- WHITE, J. D.; HRNCLAR, P.; YOKOCHI, A. F. T. (1998). «Tandem ring-closing metathesis transannular cyclization as a route to hydroxylated pyrrolizidines. Asymmetric synthesis of (+)-australine». *Journal of the American Chemical Society*, vol. 120, p. 7359-7360.

WEBS

*[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2005/chauvin-autobio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2005/chauvin-autobio.html)*

*[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2005/schrock-autobio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2005/schrock-autobio.html)*

*<http://www.anciens-amis-cnrs.com/tribune/editorial39.htm>*

*<http://www.ifp.com/actualites/dossiers/yves-chauvin-ingenieur-et-directeur-de-recherche-a-l-ifp-de-1960-a-1995-laureat-du-prix-nobel-de-chimie-2005>*

*<http://web.mit.edu/rrs/www/people.html>*

*<http://www.cce.caltech.edu/faculty/grubbs>*

*<http://www.materia-inc.com/index.html>*

**ELS PREMIS NOBEL**  
**DE L'ANY 2005**  
**SOBRE EL**  
**PREMI NOBEL DE FISIOLOGIA**  
**O MEDICINA**  
**CONCEDIT A**  
**BARRY J. MARSHALL**  
**I J. ROBIN WARREN,**  
**PER RICARD GUERRERO,**  
**CATEDRÀTIC DE MICROBIOLOGIA**  
**DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA**  
**I MEMBRE DE LA SECCIÓ**  
**DE CIÈNCIES BIOLÒGIQUES**  
**DE L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS**

**DE LA HIPÒTESI AL PARADIGMA: EL CAS  
D'*HELICOBACTER PYLORI***

RESUM

El Premi Nobel de Fisiologia o Medicina de l'any 2005 es va concedir a dos metges australians, Barry J. Marshall i J. Robin Warren, per un descobriment en el camp de la microbiologia que van fer el 1982, quan van descriure la presència d'un bacteri, *Helicobacter pylori*, en l'estómac humà, i van relacionar-lo amb la producció de gastritis i úlceres pèptiques. Es podria pensar que, davant l'evidència, la comunitat mèdica va acceptar immediatament la proposta de Marshall i Warren. No va ser així en absolut; canviar una idea tan profundament arrelada entre els metges de tot el món no va ser una tasca fàcil. Calia un canvi radical de pensament, un canvi de paradigma, que conduís a modificar la pràctica mèdica i la producció de medicaments específics. Aquest canvi solament es va produir cap al 1994, dotze anys després del descobriment. Durant molts mil·lennis d'evolució, els éssers humans han desenvolupat una relació íntima i complexa amb els microorganismes. Encara que ara coneixem moltes de les seves activitats, quan parlem dels microorganismes sempre en recordem la vessant negativa, com a agents causants de malalties infeccioses, de la contaminació i del deteriorament de productes alimentaris. No obstant això, comencem a adonar-nos que els microorganismes també poden contribuir al manteniment de la salut. El descobriment que ha merescut el Premi Nobel de l'any 2005 ens ensenya que la interacció microbi-malaltia és una relació ecològica complexa, que necessita un estudi més profund per tal de comprendre millor les malalties infeccioses i per a aconseguir un tractament més eficaç contra els microorganismes patògens.



PARAULES CLAU: *Helicobacter*, malalties infeccioses, úlcers gastroduodenal, cultiu axènic, microbiota normal o patògena.

ABSTRACT

The 2005 Nobel Prize in Physiology or Medicine was awarded to two Australian physicians, Barry J. Marshall and J. Robin Warren, for a discovery in the field of microbiology that they made in 1982, when they described the presence of a bacterium, *Helicobacter pylori*, in the human stomach, and they related it to the production of gastritis and peptic ulcers. It would be sensible to think that, in the face of such an evidence, the medical community would have immediately accepted the audacious proposal by Marshall and Warren. It was not so, however; to change an idea so deeply rooted among physicians worldwide was not an easy task. A radical change of thinking was needed, a change of paradigm that led to modify the medical practice and the production of specific drugs. Only in 1994 did this change take place, twelve years after Marshall and Warren's discovery. Over many millenia of evolution, human beings have developed a close, complex relationship with microorganisms. Even though we currently know many of their activities, when we talk about microorganisms, we always think of their negative role as causal agents of infectious diseases, pollution and food spoilage. However, we have realized that microorganisms can also contribute to maintaining health. The discovery that deserved the 2005 Nobel Prize shows us that microbe-disease interactions are complex ecological relationships that need further study for a better understanding of infectious diseases and to find more efficient treatments against pathogenic microorganisms.

KEY WORDS: *Helicobacter*, infectious diseases, gastroduodenal ulcer, axenic culture, normal or pathogenic microbiota.

El Premi Nobel de Fisiologia o Medicina de l'any 2005 ha estat concedit a dos metges australians, Barry J. Marshall i J. Robin Warren, per un descobriment en el camp de la microbiologia que van fer el 1982, quan van descriure la presència d'un bacteri, *Helicobacter pylori*, en l'estómac humà, i van relacionar el microorganisme amb la producció de gastritis i úlceres pèptiques. El discurs de recepció del Premi Nobel de Marshall es titulava «*Helicobacter. The Good, the Bad and the Ugly*»; una referència no solament a la famosa pel·lícula de Sergio Leone, sinó també al fet que la medicina ha de canviar la manera de considerar les malalties infeccioses i els microorganismes. Els microorganismes colonitzen totes les superfícies externes del cos humà, proliferen en el tub digestiu i mantenen un equilibri dinàmic amb el nostre organisme, mantenint-lo habitualment en estat sa, perquè impedeixen que hi proliferin microorganismes patògens. La relació entre els microorganismes sapròfits, fins i tot beneficiosos i imprescindibles, i els clarament nocius, fins i tot mortals, no sempre és clara. Depèn d'un delicat equilibri entre l'hoste i els microorganismes i, per tant, de les variacions de les condicions del medi. Aquest equilibri és allò que marca la profunda diferència entre la salut i la malaltia i, finalment, entre la vida i la mort.

Barry J. Marshall (nascut el 1951, a Kalgoorlie, Austràlia) i J. Robin Warren (nascut el 1937, a Adelaide, Austràlia) van aportar proves que la presència d'*Helicobacter pylori* en l'estómac estava associada a la inflamació de la mucosa gàstrica. Per a la comunitat mèdica, el fet de reconèixer que l'úlcera pèptica o gastroduodenal podia estar causada per un microorganisme significava un profund canvi de paradigma: la malaltia havia de deixar de ser considerada una afecció psicosomàtica, sovint hereditària i que, en casos greus, tenia com a únic remei la cirurgia. Segons Marshall i Warren, la malaltia era infecciosa, estava produïda per un bacteri i, per tant, podia ser tractada amb antibiòtics.

## BARRY J. MARSHALL

Barry J. Marshall va néixer el 30 de setembre de 1951 a Kalgoorlie, Austràlia Occidental. Es va llicenciar en medicina a la Universitat d'Austràlia Occidental el 1974. Va treballar com a investigador en el Royal Perth Hospital; posteriorment es va traslladar a la Universitat de Virgínia, i finalment a la Universitat d'Austràlia Occidental (des de 1997). Entre els premis rebuts durant la seva carrera investigadora i docent cal destacar: el Premi Warren Alpert (compartit amb J. R. Warren, 1994), el Premi Paul Ehrlich (també compartit amb J. R. Warren, 1997), la Medalla Buchanan (Royal Society, 1998), la Medalla Benjamin Franklin de les Ciències de la Vida (Filadèlfia, 1999) i la Medalla Australiana del Centenari (2003).

## J. ROBIN WARREN

J. Robin Warren va néixer l'11 de juny de 1937 a Adelaide, Austràlia del Sud. Es va llicenciar en medicina a la Universitat d'Adelaide el 1961. Va treballar, per ordre d'antiguitat, al

65



FIGURA 1. Fotografia de Barry J. Marshall (esquerra) i J. Robin Warren, el desembre de 2005. Copyright © Nobel Web AB 2005. Fotografia: Hans Mehlin.

Queen Elizabeth Hospital, Royal Melbourne Hospital i Royal Perth Hospital. És membre distingit del Royal College of Pathologists d' Austràlia. Va fer la conferència inaugural en el primer congrés sobre *Helicobacter* del Pacífic occidental. Alguns altres mèrits i premis són compartits amb B. J. Marshall.

TOTHOM HO HAVIA VIST PERÒ NINGÚ NO S'HO CREIA

En una mica més de cent anys d'història dels premis Nobel, poques vegades el de Fisiologia o Medicina havia estat concedit al descobriment d'una malaltia infecciosa d'origen bacterià (taula 1).

TAULA 1

*Premis Nobel de Fisiologia o Medicina relacionats amb la microbiologia (adaptat de Guerrero, 2005)*

Any	Científic	Treball	Camp*
1901	Emil Adolf von Behring	Pel treball en teràpia sèrica, concretament per la seva aplicació contra la diftèria	I
1902	Ronald Ross	Pel treball sobre la malària	P
1905	Robert Koch	Per les investigacions i el descobriment de la tuberculosi	B
1907	Alphonse Laveran	En reconeixement del paper que tenen els protists com a agents causants de determinades malalties	P
1908	Paul Ehrlich Ilya Mechnikov	En reconeixement del treball en immunitat	I
1919	Jules Bordet	Pels treballs relacionats amb la immunitat	I
1926	Johannes Fibiger	Pel descobriment de <i>Spiroptera carcinoma</i> (un nematode —un cuc— que semblava que produïa càncer!)	P
1927	Julius Wagner von Jauregg	Pel valor terapèutic de la inoculació de la malària en el tractament de la demència paralítica	P
1928	Charles-Jules-Henri Nicolle	Pel treball sobre el tifus epidèmic	B
1939	Gerhard Domagk	Pel descobriment dels efectes antibacterians del prontosil	A

TAULA 1 (Continuació)

Any	Científic	Treball	Camp*
1945	Ernst B. Chain Alexander Fleming Howard Walter Florey	Pel descobriment i desenvolupament de la penicil·lina i dels seus efectes curatius en diferents malalties infeccioses	A
1951	Max Theiler	Pel descobriment de la febre groga i de com combatre-la	V
1952	Selman A. Waksman	Pel descobriment de l'estreptomicina, el primer antibiòtic efectiu contra la tuberculosi	A
1954	John F. Enders Frederick C. Robbins Thomas H. Weller	Pel descobriment de la capacitat del virus de la poliomièlitis en créixer en diferents teixits cel·lulars	V
1960	Frank Macfarlane Burnet Peter Brian Medawar	Pel descobriment de la tolerància immunitària adquirida	I
1966	Francis Peyton Rous  [Charles B. Huggins]	Pel descobriment de la inducció de tumors per virus (treballs fets el 1912!)  [Pel descobriment del tractament hormonal del càncer de pròstata]	V
1972	Gerald M. Edelman Rodney R. Porter	Pel descobriment de l'estructura química dels anticossos	I
1975	David Baltimore Renato Dulbecco Howard M. Temin	Pel descobriment de la interacció dels virus tumorals i el material genètic de la cèl·lula	V
1976	Baruch S. Blumberg D. Carleton Gajdusek	Pels estudis de l'origen i disseminació de les malalties infeccioses	V-B-P
1997	Stanley B. Prusiner	Pel descobriment dels prions	V
2005	Barry J. Marshall J. Robin Warren	Pel descobriment del bacteri <i>Helicobacter pylori</i> i del seu paper en les malalties gastroduodenals	B

\*Camp (o relacionat): A, antibiòtics; B, bacteriologia; I, immunologia; P, parasitologia i pròtologia; V, virus i prions.

Els histopatòlegs havien detectat la presència de bacteris espirals en l'estómac humà des d'abans de 1906. I encara que observacions similars es van fer en repetides ocasions, no cridaven l'atenció perquè els bacteris observats no podien ser cultivats. A més, es pensava que l'estómac no podia tenir microorganismes de manera permanent, a causa del baix pH (de 0 a 1) del suc gàstric. El cultiu fet per Marshall d'un nou bacteri a partir de la mucosa gàstrica, el 1982, va fer trontollar

les idees anteriors; el bacteri aïllat va ser anomenat *Helicobacter pylori* (bacteri helicoides del pílor). Marshall i Warren van descriure bacteris espirals o corbats en seccions histològiques de la mucosa gàstrica; a més, podien trobar bacteris de la mateixa forma en teixits gàstrics ulcerats o malignes. La prova definitiva van ser els assaigs que mostraven que l'eliminació dels bacteris canviava totalment el desenvolupament clínic de l'úlcera. Aquestes observacions van ser confirmades per Marshall mateix, qui va ingerir (voluntàriament) un cultiu del bacteri aïllat i en pocs dies va tenir gastritis, un prelude de l'úlcera. Però el tractament amb antibiòtics el va guarir. (Warren no podia afegir-se a l'experiment perquè ja patia d'úlcera gastroduodenal.) Després, altres persones que patien úlceres gastroduodenals van ser tractades amb èxit amb antibiòtics antibacterians; això va demostrar clarament que la causa de la malaltia era un bacteri. El 1994, *Helicobacter pylori* va ser el primer bacteri, i el segon organisme infecciós, després del virus de l'hepatitis B, que va ser considerat un carcinogen de classe I, segons els criteris de l'Organització Mundial de la Salut.<sup>1</sup>

Es podria pensar que, davant l'evidència, la comunitat mèdica va acceptar immediatament l'agosarada proposta de Marshall i Warren. No va ser així en absolut; canviar una idea tan profundament arrelada entre els metges de tot el món no va ser una tasca fàcil. Moltes persones es van resistir durant anys a creure que les úlceres tenien origen infecciós. La idea anava en contra del «dogma» tradicional, acceptat sense dubte per dècades: que la causa de la malaltia era l'estrès i l'excés d'àcid. Si la causa real era un bacteri, les freqüents extirpacions del teixit ulcerat s'haurien d'aturar. La gran quantitat de medicaments produïts per moltes empreses farmacèutiques deixarien de

1. Com a curiositat històrica, es pot mencionar aquí que el Premi Nobel de 1926 (taula 1) va ser concedit per la proposta que un nematode «era carcinogen».

vendre's. Calia un canvi radical de pensament, un canvi de paradigma, que conduís a modificar la pràctica mèdica i la producció de medicaments específics. Aquest canvi solament es va produir cap al 1994, dotze anys després del descobriment.

Per a entendre què significava el canvi de paradigma, és a dir, el reconeixement de l'origen microbià d'una malaltia perfectament coneguda, molts anys després de l'època gloriosa dels descobriments de Koch i Pasteur, i dels seus col·laboradors o deixebles directes (finals del segle XIX i principis del XX), cal anar enrere en el temps i repassar històricament la visió que els científics han anat tenint de l'immens i «invisible» món dels microbis.

## LES TRES EDATS DE LA MICROBIOLOGIA

El desenvolupament científic és una contínua interacció entre fets i idees. Els avenços en el coneixement del món natural van normalment precedits d'alguna innovació tecnològica que permet mesurar i observar alguna cosa nova, o bé realitzar nous plantejaments experimentals, prèviament impossibles. Les tècniques només són eines; cal tenir una preparació intel·lectual per a assolir un avançament real en el coneixement científic («la casualitat només es presenta en les ments preparades», va dir Louis Pasteur).

En el descobriment dels microorganismes podem destacar tres grans edats o etapes epistemològiques: l'edat microscòpica, l'edat patogènica i l'edat ecològica.

### L'edat microscòpica

En la primera, un progrés tecnològic, el microscopi, va permetre l'observació d'unes «bestioles diminutes», d'un món prèviament desconegut i que s'estenia per tot arreu on es mirés: les aigües, els sòls, els cossos dels animals, les plantes, el mateix organisme

humà. Però aquesta presència «universal» no va produir cap avançament intel·lectual, fora del coneixement mitjançant l'observació. Era un món nou i «invisible» que no tenia cap paper aparent, si no ho era el de ser-hi. Els microorganismes existien, tenien una forma definida en l'espai i perduraven en el temps, però només es consideraven simples «curiositats». Era impossible pensar que aquelles criatures tinguessin alguna funció. I aquest coneixement exclusivament observacional va durar pràcticament dos segles, des de la meitat del XVII fins a la meitat del XIX.

Ben avançat el segle XVII, una complexa sèrie de circumstàncies i l'interès comú pels microscopis van conduir dues persones, Robert Hooke (1635-1703), científic anglès, membre de la Royal Society de Londres, i Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), comerciant holandès de teles, al descobriment de l'univers microbià. El llibre *Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon* (1665) és la primera descripció publicada del món microscòpic i l'acta fundacional de les ciències biològiques. És, a més, un dels primers llibres científics de l'edat moderna escrits en llengua vulgar (anglès), no en llatí. Hooke disposava d'un microscopi compost, és a dir, essencialment com els microscopis fotònics actuals, encara que molt menys potent i amb moltes aberracions òptiques. El llibre il·lustra i descriu diversos objectes biològics: esponges, rotífers, el fong *Mucor*, un diminut «cargol»,<sup>2</sup> la famosa primera observació de cel·les (*cells*) en el suro, etc.

Leeuwenhoek construïa els seus microscopis, que eren molt potents per a l'època, malgrat que eren pròpiament lupes, ja que tenien una sola lent. Va construir-ne més de tres-cents, amb els quals va observar i descriure l'esperma i els eritròcits de molts animals, molts invertebrats microscòpics, els llevats, etc. Però la seva contribució transcendental per a la biologia va ser el

2. Que era en realitat una globigerina, és a dir, un protist.



descobriments dels protists i dels bacteris. Leeuwenhoek, sense formació científica però dotat d'una gran paciència, habilitat i curiositat, va observar els primers protists (principalment ciliats) en l'aigua el 1674. Els va anomenar *beesjes* (petites bèsties), o *cleijne Schepsels* (organismes diminuts), segons va escriure en holandès, o *animalculi* (animalons), en llatí, d'acord amb el que va aparèixer quan les seves cartes van ser publicades per la Royal Society.<sup>3</sup> Anys després, el 1683, va observar per primera vegada bacteris, en la superfície de les seves dents. Curiosament, alguns eren espiroquetes, éssers petitíssims comparats fins i tot amb la resta del diminut món microbià. A *Microscopium* (1678), Hooke confirma les observacions de Leeuwenhoek, fet que augmenta la reputació i celebritat del botiguer holandès.

És important destacar aquí que, com ha passat en altres ocasions en la història de la ciència, la curiositat, l'esforç i la constància d'una persona van compensar la manca de formació científica o de preparació intel·lectual per a fer un descobriment. Leeuwenhoek no era un científic, no va escriure articles ni llibres sobre les seves observacions. A la seva casa de Delft, on va viure gairebé tota la seva vida, construïa els seus propis diminuts microscopis, examinava tots els materials que tenia al voltant i escrivia seguidament multitud de cartes amb les seves observacions (en holandès, l'única llengua que coneixia) a molts diferents corresponents. Alguns editors murrins van reunir part de les cartes i les van publicar en una magnífica col·lecció en cinc volums, sota el títol general d'*Arcana Naturae Detecta* («Descobriments dels secrets de la natura»), impresa encara en vida de l'autor.<sup>4</sup>

3. DOBELL (1932).

4. Una d'aquestes col·leccions és un dels tresors bibliogràfics del Fons Salvador de l'Institut Botànic de Barcelona (*Arcana Naturae Detecta*, Leiden, Joh Arnold Langerak, cinc volums, de 1718 a 1722, amb un total de 165 cartes, de les 375 que Leeuwenhoek va escriure a la Royal Society).

## L'edat patogènica

La importància dels microorganismes com a causants de les malalties infeccioses no va ser coneguda per la comunitat científica, ni molt menys per la població en general, fins ben avançat el segle XIX. Tradicionalment es creia que les malalties eren conseqüència o bé de forces sobrenaturals (vapors verinosos o «miasmes», un càstig diví), o bé del desequilibri entre els quatre humors del cos humà (sang, flegma, bilis groga [còlera] i bilis negra [malenconia]).

Entre les moltes malalties infeccioses tradicionalment conegudes per tothom, cal destacar-ne dues pels seus efectes ràpids i evidents: la pesta i la sífilis. La sífilis es comença a conèixer els primers anys del segle XVI. El 1530, per expressar la seva idea de l'origen de la malaltia, el metge italià Girolamo Fracastoro (1478-1553) va escriure en vers l'obra *Syphilis, sive morbus gallicus* (sífilis o mal francès; Sífilis és el nom del personatge protagonista), en què va proposar que aquesta malaltia de transmissió sexual es dispersava mitjançant éssers vius invisibles (unes «llavors») i per contacte íntim (figura 2). Pocs anys després, va descriure el contagi de les malalties per contacte directe a través de les mans o de la roba, com també el «contagi a distància» per «llavors» dispersades per l'aire (*De contagione et contagiosis morbis*, 1546). Fracastoro es va anticipar tres-cents cinquanta anys a un dels principals canvis de paradigma en la medicina, la consolidació de la teoria microbiana de la malaltia per Louis Pasteur (1822-1895) i Robert Koch (1843-1910), en la dècada de 1880.

La pesta és una malaltia coneguda al llarg de tota la història de la humanitat. Ha causat greus epidèmies a Europa en moltes ocasions, fins ben avançat el segle XIX. L'epidèmia més «famosa», la pesta negra, és la que es va estendre des del port de Gènova en totes direccions a partir de l'any 1347 i va causar la mort d'un terç de la població europea durant la se-



FIGURA 2. Original per al cartell de Casas *Sífilis* que anunciava el sanatori del doctor Abreu, que tenia la seu al carrer Major de la Bonanova de Barcelona, dedicat a la curació de malalties de transmissió sexual. El cartell, imprès per la casa Thomas, incloïa les llegendes següents: «Sífilis» amb les eses en forma de serp, a la part superior; «Curación absoluta y radical en el sanatorio para sífilíticos», a la inferior, i, en lletres més petites, les dades de l'establiment. L'artista fa servir una figura d'una dona tapada amb un mantó de Manila, com en altres cartells d'anuncis seus, però aquí aporta un sentit diferent en introduir-hi elements clarament simbòlics al·lusius a la malaltia i a la perillositat del contacte sexual.

La dona ofereix un lliri blanc amb la mà esquerra, però amaga la malaltia, representada per la serp que té agafada amb la mà dreta i que s'enfila pel mantó. Casas no podia saber que la sífilis està produïda per *Treponema pallidum*, una espiroqueta petitíssima que podria recordar una serp microscòpica. Atès que la sífilis era una malaltia que els homes contracten principalment a través del contacte amb prostitutes, Casas va triar la imatge colpidora d'una d'aquelles dones, que va representar demacrada i amb aspecte malaltís. A començament del segle XX, la sífilis era la malaltia de transmissió sexual més temuda, no únicament pels efectes i les complicacions que podia causar en les persones afectades, sinó perquè el reconeixement públic de la malaltia era un estigma social. (Original per a cartell; llapis conté i pastel; 46 × 28 cm; Barcelona, 1900. Museu Nacional d'Art de Catalunya [MNAC/GDG 108770].) Figura proporcionada per l'autor de l'article.

73

gonia meitat del segle XIV. També va servir com a «justificació» del ferotge atac al call de Barcelona el 1348, en què es va acusar els jueus, com era freqüent en casos de calamitats, de ser els responsables de l'epidèmia. Els calls de Cervera, Tàrraga, Lleida i Girona també van ser atacats.

Ja des de l'antiguitat, per evitar la dispersió de la malaltia, es van establir una sèrie de normes higièniques de relativa eficàcia, com ara cremar la roba, tancar les cases, establir períodes d'aïllament o quarantena, etc. El metge i poeta valencià Lluís Alcanyís (c. 1440-1506) comença així el seu llibre *Regiment preservatiu e curatiu de la pestilència* (València, Nicolau Spindeler, 1490): «Mirant natura humana a tants innumerables perills e casos mortals, no he vist de totes les causes de morir nenguna més trista, més aguda e més cruel que aquesta epidèmia, que així prestament e amagada per nostres membres principals devalla segons que per diverses experiències se comprova, mortificant les obres del cor, cervell e fetge en tal grau que l'ànima, no tenint disposició complida de instruments, necessàriament lo desempara» (figura 3).

El microorganisme causant de la pesta és *Yersinia pestis*. El gènere *Yersinia* és un bacil curt gramnegatiu, flagel·lat, que pertany al grup dels anomenats *alfaproteobacteris*. Els

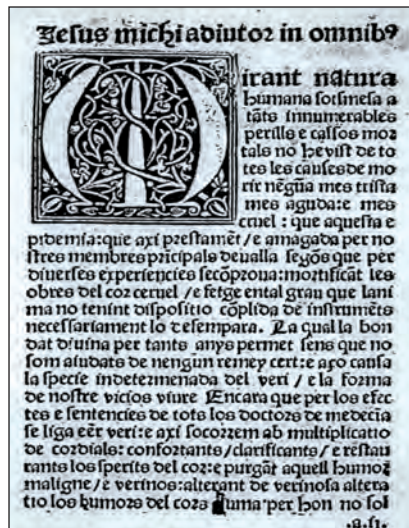


FIGURA 3. Primera pàgina del llibre de Lluís Alcanyís *Regiment preservatiu e curatiu de la pestilència* (València, Nicolau Spindeler, 1490), un tractat de mesures preventives i guaridores de la pesta. Figura proporcionada per l'autor de l'article.

bacteris de la pesta són mòbils quan s'aïllen de l'ambient, però immòbils dins de l'hoste. Tres espècies poden causar malaltia als humans: *Y. enterocolitica*, *Y. pseudotuberculosis* i *Y. pestis*. Les dues primeres són enteropatògenes, infecten diversos mamífers i normalment no són mortals. La via d'entrada principal és la ingestió d'aigua o aliments contaminats. La tercera espècie, *Y. pestis*, infecta principalment els rosegadors i, indirectament, els humans a través de les puces, que actuen com a vectors entre les rates i els humans. Hi ha dues formes principals de manifestació de la pesta humana: la pesta bubònica (transmissió a través d'una picada de puça) i la pesta pneumònica (transmissió de persona a persona per aerosols, és a dir, gotetes de saliva en l'expectoració, etc.). La picada d'una puça infectada amb *Y. pestis* introdueix en el corrent sanguini els bacteris, que «viatgen» per la sang fins a arribar als nòduls limfàtics. Allà, els bacteris proliferen dins dels macròfags. La resposta inflamatòria generada provoca el creixement patològic dels ganglis (els bubons). Molts bacteris passen de nou a la sang i causen septicèmia (una infecció greu generalitzada). El trencament d'aquests bacteris en la sang allibera lipopolisacàrids (components de la membrana externa típica dels bacteris gramnegatius), la qual cosa provoca en l'hoste un xoc sèptic i la mort. Ocasionalment, alguns bacteris poden arribar als pulmons, on entren en els macròfags pulmonars (pesta pneumònica). En aquest estat, com s'acaba de dir, la transmissió a altres persones és a través d'aerosols (a través de l'expectoració) o per contacte directe. La inhalació d'aquests aerosols produeix una forma de malaltia que progressa molt més ràpidament que la transmissió a través de les puces, probablement perquè el bacteri presenta immediatament tots els factors de virulència necessaris per a colonitzar el cos humà.

En la segona meitat del segle XIX, els avenços tecnològics (autoclaus, filtres, estufes, etc.) i el desenvolupament de

les tècniques bàsiques per a l'aïllament i cultiu axènic (o «pur») van permetre als fundadors de la microbiologia moderna, Pasteur i Koch, confirmar que els microorganismes eren la causa de les malalties infeccioses i eren agents contaminants dels aliments i de les aigües. A més, per demostrar que microorganismes específics causen malalties específiques, Koch va desenvolupar uns principis, o postulats, que proven irrefutablement que un determinat microorganisme produeix una determinada malaltia (figura 4). Els postulats de Koch són quatre:

1r. El microorganisme causant de la malaltia ha de trobar-se en tots els individus afectats.

2n. Aquest microorganisme ha de poder ser aïllat en cultiu axènic.

3r. Quan aquest microorganisme s'inocula en un animal d'experimentació, a partir d'un cultiu axènic, ha de produir-se la mateixa malaltia.

4t. El microorganisme causant de la malaltia ha de poder ser aïllat de nou a partir de l'animal d'experimentació i ha de poder ser cultivat axènicament.

El cultiu axènic, amb el sentit que coneixem avui dia, no va ser obtingut per Pasteur. Pasteur feia créixer els bacteris en medi líquid; quan el medi de cultiu es feia tèrbol, n'inoculava una petita quantitat en un altre medi «fresc» (sense bacteris), i així successivament. Fent aquesta sèrie de transferències, Pasteur suposava que tenia un cultiu axènic, però amb aquest mètode, l'obtenció d'un cultiu axènic és totalment fortuïta i poc reproduïble. Joseph Lister (1827-1912) va utilitzar el mètode de la dilució seriada fins a suposar que en l'últim tub de la sèrie quedava un únic microorganisme. Però, com en el cas de Pasteur, el mètode era complicat i sovint poc fiable. Els que van resoldre definitivament el problema, utilitzant un medi sòlid, van ser Koch i els seus col·laboradors.

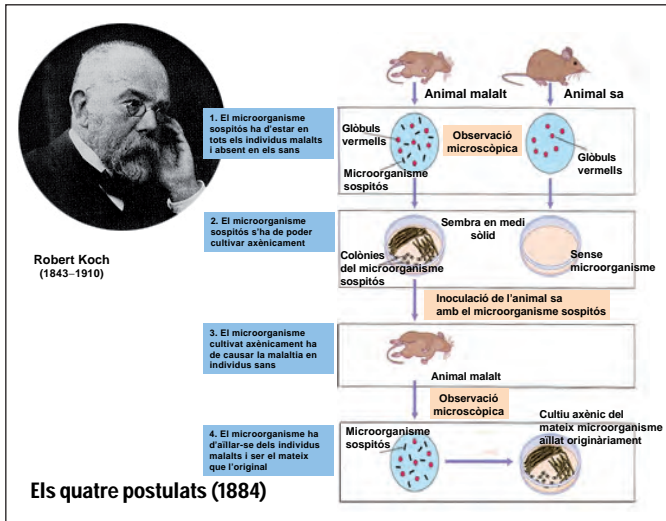


FIGURA 4. Els postulats de Koch. Conjunt de procediments seriatos per a identificar l'agent etiològic responsable d'una malaltia infecciosa.

La base de la tècnica per a l'aïllament de bacteris en medis sòlids o semisòlids va ser proposada el 1875 per Joseph Schroeter (1835-1894), un estudiant de Ferdinand Cohn (1828-1898), que utilitzava talls de patata bullida dins de recipients esterilitzats. Koch estava totalment familiaritzat amb els treballs de Schroeter, ja que visitava molt sovint el laboratori de Cohn; no obstant això, Koch no el va citar en els seus treballs. La patata bullida servia de medi de suport i nutritiu per als microorganismes, però molts microorganismes patògens no hi podien créixer. A més, la patata regalimava líquid, cosa que feia que els microorganismes creïessin i es dispersessin per la superfície, ajuntant-se o tocant-se diferents colònies. (Koch volia trobar uns medis que poguessin suportar el creixement dels microorganismes patògens, sense tocar-se, sobre una superfície sòlida.)

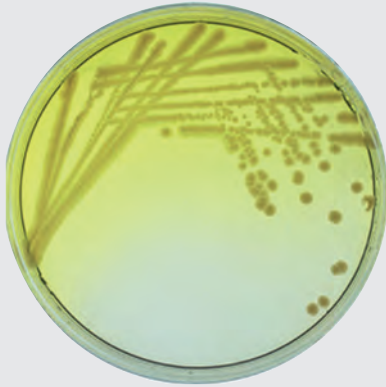
QUADRE 1  
El cultiu axènic

El cultiu axènic (o «pur») és la tècnica microbiològica que permet obtenir colònies separades d'un microorganisme, de manera que podem pensar que tenim aquest microorganisme «aïllat», és a dir, que no està contaminat amb cap altre organisme. Koch va utilitzar primer la gelatina com a agent per a solidificar els diferents medis líquids (brous) que feia servir per al creixement dels microorganismes patògens. Aquest medi sòlid el cobria amb una campana de vidre per evitar la contaminació amb els microorganismes existents en l'ambient. Els brous amb gelatina eren un bon medi de cultiu per a l'aïllament de microorganismes, però presentaven un inconvenient important: la gelatina no es manté sòlida a 37 °C, que és la temperatura òptima de creixement de la majoria de microorganismes patògens humans. Calia un altre agent solidificant més resistent a la digestió per microorganismes. Un col·laborador de Koch, Walter Hesse (1846-1911), per suggeriment de la seva esposa Fanny Angelina Eilshemius Hesse (1850-1934, nascuda als Estats Units), va introduir en els medis de cultiu una substància que es deia *agar-agar*. L'agar és un polisacàrid derivat de les algues roges (rodòfits), que s'utilitzava com a agent gelificant de pastissos i postres, especialment en les zones tropicals. Hesse es va interessar per la microbiologia principalment per fer estudis d'higiene ambiental, com la contaminació microbiana de l'aire, de les aigües de distribució urbanes o de les aigües residuals. Angelina treballava com a tècnic en el mateix laboratori, i a més era una magnífica dibuixant d'observacions microscòpiques de microorganismes.

L'agar va aportar molts avantatges respecte a la gelatina: era sòlid a 37 °C, resistent a la degradació enzimàtica i es podia emmagatzemar durant bastant de temps. Hesse va comunicar la descoberta a Koch, que immediatament va afegir l'agar en un nou medi destinat al cultiu del bacil de la tuberculosi.



El 1887, Richard Petri (1852-1921), també en el laboratori de Koch, va escriure un petit article on descrivia la utilització de plaques (capses) dobles circulars —que van rebre el seu nom— en què es posava el medi de cultiu. Les plaques de Petri es podien esterilitzar i emmagatzemar independentment del medi. En la part inferior de la capsa es ficava el medi de cultiu fos i es podia tancar amb una placa d'una mida un xic més gran per a evitar les contaminacions. Les plaques de Petri, que encara avui s'utilitzen, ja siguin de vidre o de plàstic, constitueixen un material imprescindible en un laboratori de microbiologia, de biologia cel·lular, d'embriologia, etc.



Placa de Petri, la base del cultiu axènic.  
Imatge preparada per la doctora Mercè Berlanga.

Un altre predecessor de la tècnica del cultiu axènic fou el micòleg Oscar Brefeld (1839-1925), qui l'any 1875 va proposar els principis per a l'obtenció de cultius axènics de fongs: *a*) la inoculació d'un medi ha de ser amb una única espora de fong; *b*) el medi utilitzat ha de ser transparent i ha de tenir les característiques adients per a permetre el creixement del microorganisme, i *c*) el cultiu s'ha de mantenir

completament protegit de les contaminacions externes durant tot el temps d'incubació. (A Brefeld se li atribueix la contundent observació següent: «Fora del cultiu pur, tot és confusió i *Penicillium glaucum* [un contaminant habitual dels medis de cultiu]». Aquesta frase, posteriorment, se la va apropiari Selman Waksman (1888-1973), la qual cosa no va ser l'única que es va apropiari immerescudament Waksman.)

Potser la principal contribució de Koch al desenvolupament de la microbiologia hagi estat la introducció de la tècnica del cultiu axènic utilitzant medis sòlids o semisòlids. El cultiu axènic i la utilització dels postulats van permetre l'aïllament, abans de finalitzar el segle XIX, dels microorganismes causants de les principals malalties bacterianes dels humans.

Tot el coneixement del món microbià (especialment dels procarïotes), de la seva genètica i de la seva fisiologia, s'ha basat fins fa poc en el creixement axènic dels microorganismes. I encara que continua sent imprescindible per a la microbiologia clínica i d'aliments, per a l'obtenció de productes microbians, etc., resulta insuficient per als estudis actuals d'ecologia microbiana.

### L'edat ecològica

L'ecologia microbiana és una de les ciències microbiològiques més destacades de l'últim quart del segle XX. Encara que ja comença amb els treballs pioners de Martinus Beijerinck (1851-1931) i Sergei Winogradsky (1856-1952), a principis del segle XX, el primer llibre de text amb el nom de *ecologia microbiana* no va ser publicat fins al 1966.<sup>5</sup> L'objectiu de l'ecologia microbiana és estudiar el paper dels microorganismes en la natura i les relacions existents entre els microorganismes

5. BROCK (1966).

mes i els altres éssers vius i la relació que s'estableix amb l'ambient. Al principi, l'ecologia microbiana estava fragmentada en moltes disciplines, com la microbiologia del sòl, la microbiologia dels aliments, la microbiologia marina, etc. Però ara s'intenta integrar tots els camps d'estudi en una visió unificada i unificadora. La nova visió del paper dels microorganismes en les malalties infeccioses n'és un exemple. De fet, es creu que és un problema ecològic del microbi i el seu ambient, és a dir, de l'hoste que pateix la malaltia.<sup>6</sup> Sabem ara que els microorganismes i les seves activitats tanquen els cicles de la matèria, són la base de totes les xarxes tròfiques, controlen els gasos de l'atmosfera, contribueixen de manera essencial al funcionament global del planeta i ajuden al desenvolupament sostenible de la biosfera.<sup>7</sup>

La nostra percepció dels bacteris com a poblacions clonals úniques (unicultiu), aïllades de la diversitat del medi, té l'origen en el paradigma del cultiu axènic. No obstant això, a la natura, els bacteris rarament es troben sols i nedant en el medi (de vida planctònica). Els bacteris normalment s'adhereixen a les superfícies i formen biopel·lícules. Es troben en qualsevol superfície en contacte amb un medi líquid: pedres d'un riu, fonts termals, canonades, catèters, dents, etc. Són sèssils (o de vida bènica). Una biopel·lícula és una associació complexa de microorganismes, constituïda per una o diferents espècies, unides a una superfície i incloses en una matriu de polímers extracel·lulars que fabriquen els mateixos microorganismes.<sup>8</sup> La formació de la biopel·lícula és un fenomen de *percepció de quòrum* (*quorum-sensing*).<sup>9</sup> Generalment, cada cèl·lula secreta petites quantitats d'una molè-

6. HALL-STOODLEY *et al.* (2004).
7. MALOY i SCHAECHTER (2006).
8. STOODLEY *et al.* (2002).
9. HENKE i BASSLER (2004).

*cula de comunicació* (per exemple *N*-acilhomoserina lactona). Quan s'agreguen un nombre suficient de bacteris (quan la població ha assolit la densitat mínima necessària), la concentració d'aquesta substància en el medi augmenta. Aquest augment fa que s'activin diversos gens de cada cèl·lula de la població i, com a conseqüència, totes les cèl·lules comencen a actuar de la mateixa manera (per exemple, produint llum, agrupant-se, etc.). La formació de biopel·lícules es considera una estratègia de supervivència (que permet la hidratació, la concentració de nutrients, la impermeabilitat als antibiòtics o a altres substàncies tòxiques, l'intercanvi genètic, etc.).

La formació de biopel·lícules com a mecanisme de protecció pot tenir profundes implicacions per a l'hoste, perquè els microorganismes que estan creixent en aquestes superfícies són molt més resistents als antibiòtics i al sistema immunitari de l'hoste. Els catèters, les vàlvules cardíaques, les pròtesis, els tubs endotraqueals, etc., salven moltes vides, però també suposen un risc intrínsec d'infeccions a causa de l'adhesió de microorganismes a les seves parets.<sup>10</sup>

#### EL COS HUMÀ, UNA GRAN VARIETAT D'HÀBITATS PER ALS MICROORGANISMES

Durant molts mil·lennis d'evolució, els éssers humans han desenvolupat una relació íntima i complexa amb els microorganismes. Ara que coneixem moltes de les seves activitats, quan parlem dels microorganismes sempre en recordem la vessant negativa, com a agents causants de malalties infeccioses, de la contaminació i del deteriorament de productes alimentaris. No obstant això, comencem a adonar-nos que els microorganismes també poden contribuir al manteniment de la salut.

10. HALL-STOODLEY *et al.* (2004).

Si calculem la relació existent entre l'alçada d'un humà mitjà d'1,70 m i el diàmetre de la Terra, 12.756 km, dona  $7,5 \times 10^6$ ; si fem el mateix càlcul entre un humà (1,70 m) i el bacteri de vida lliure més petit conegut, *Mycoplasma genitalium*, que pot tenir uns 230 nm de longitud, la relació obtinguda és aproximadament la mateixa,  $7,4 \times 10^6$ . Per a un bacteri, el cos humà és la seva biosfera; biosfera que, com la de la Terra, conté una enorme diversitat d'hàbitats. La microbiota humana colonitza totes les superfícies externes del cos: l'àrid desert del front, els boscos freds de l'avantbraç, les selves humides de l'aixel·la, els llacs àcids de l'estómac, etc. La distribució dels tàxons no és homogènia, sinó que depèn de quatre factors principals: *a*) les variables fisicoquímiques de l'hàbitat (boca, vagina, aixel·les, etc.); *b*) la competència biològica amb altres microorganismes existents; *c*) les característiques genètiques i metabòliques de cada microorganisme en concret, i *d*) el grau de tolerància del sistema immunitari de l'hoste.

83

Només durant els nostres primers nou mesos d'existència estem lliures de microorganismes. Des del naixement fins a la mort, i definitivament després d'aquesta, el nostre cos està colonitzat per molts tipus de virus, bacteris i fongs. Una persona adulta pot tenir deu vegades més cèl·lules microbianes (procariotes, com ara els bacteris, o eucariotes, com ara els llevats i altres fongs) que cèl·lules humanes: el cos humà té  $10^{13}$  cèl·lules eucariotes i  $10^{14}$  cèl·lules procariotes. Els procariotes representen aproximadament 1,25 kg del nostre pes total. Som la llar de més de mil cinc-cents tàxons microbians diferents, que no es distribueixen homogèniament per tot el cos, sinó que cadascun ocupa uns hàbitats determinats, com ara la pell, l'intestí, l'aparell respiratori superior, l'aparell genital, les vies urinàries o la conjuntiva. Certs microorganismes mantenen un pacte de permanència (el sistema immunitari en tolera la presència) sobre determinades

superfícies del cos. No obstant això, un mateix microorganisme en zones diferents pot provocar respostes diverses (per exemple, *Escherichia coli*, que és un bacteri comensal molt abundant en l'intestí, si es troba en les vies urinàries pot causar una infecció i una malaltia).

La microbiota sapròfita o simbiònt del cos humà canvia al llarg del temps. L'aparició de les dents en els nens, per exemple, aporta nous ambients habitables. Les dents proporcionen una nova superfície d'adhesió. A més, es formen zones sense oxigen (anòxiques) entre la dent i la geniva, i això permet la colonització de bacteris anaerobis com ara *Fusobacterium*. El canvi de dieta progressiu en un nen determina profunds canvis en la microbiota intestinal, els quals faciliten la digestibilitat dels aliments. Al principi, la microbiota intestinal del noutat està constituïda principalment per *Bifidobacterium* spp. i *Lactobacillus* spp., que mantenen un ambient lleugerament àcid en l'intestí, protegint-lo de la colonització de possibles microorganismes patògens.

De manera similar, el nivell d'estrògens condiona la microbiota de la vagina. En el moment del naixement d'una nena, els estrògens de la mare passen a través de la placenta i afavoreixen la colonització dels lactobacils. Després de dues o tres setmanes, la influència dels estrògens materns disminueix. El revestiment epitelial de la vagina es fa més prim, els lactobacils desapareixen i el pH esdevé alcalí. Aquestes condicions es mantenen durant la infància. En la pubertat, augmenten els nivells d'estrògens que estimulen la producció de glucogen per les cèl·lules epitelials de la vagina. Els lactobacils consumeixen el glucogen i proliferen. En fer-ho, produeixen àcid làctic, el qual fa baixar el pH vaginal. L'acidesa protegeix la vagina de la infecció per molts microorganismes patògens.

El cos d'un adult conté més de vuit-centes espècies microbianes, que pertanyen a vuit de les cinquanta-cinc divi-

TAULA 2  
*Descobriments o identificació dels principals patògens bacterians humans*

<i>Any</i>	<i>Malaltia o afecció</i>	<i>Microorganisme (nom actual)</i>	<i>Descobridor</i>
1877	Carboncle	<i>Bacillus anthracis</i>	R. Koch
1878	Supuració	<i>Staphylococcus</i> spp.	R. Koch
1879	Gonorrea	<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	A. L. S. Neisser
1880	Febre tifoide	<i>Salmonella typhi</i>	K. J. Eberth
1881	Supuració	<i>Streptococcus</i> spp.	A. Ogston
1882	Tuberculosi	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	R. Koch
1883	Còlera	<i>Vibrio cholerae</i>	R. Koch
1883	Difèria	<i>Corynebacterium diptheriae</i>	E. Klebs, F. Löffler
1884	Tètan	<i>Clostridium tetani</i>	A. Nicolaier
1885	Diarrea	<i>Escherichia coli</i>	T. Escherich
1886	Pneumònia	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	A. Fraenkel
1887	Meningitis	<i>Neisseria meningitidis</i>	A. Weischelbaum
1888	Infecció alimentària	<i>Salmonella enteritidis</i>	A. A. H. Gaertner
1892	Gangrena gasosa	<i>Clostridium perfringens</i>	W. H. Welch
1894	Pesta bubònica	<i>Yersinia pestis</i>	S. Kitasato, A. J. E. Yersin (independentment)
1896	Botulisme	<i>Clostridium botulinum</i>	E. M. P. van Ermengem
1898	Disenteria bacil·lar	<i>Shigella dysenteriae</i>	K. Shiga
1903	Sífilis	<i>Treponema pallidum</i>	F. R. Schaudinn, E. Hoffmann
1906	Tos ferina (catarro)	<i>Bordetella pertussis</i>	J. Bordet, O. Gengou
1909	Tifus	<i>Rickettsia prowazekii</i>	H. T. Ricketts, S. von Prowazek (independentment)
1976	Legionel·losi	<i>Legionella pneumophila</i>	Un grup de metges
1982	Malaltia de Lyme	<i>Borrelia burgdorferi</i>	W. Burgdorfer
1982	Úlcera gastroduodenal	<i>Helicobacter pylori</i>	B. J. Marshall, J. R. Warren

sions del domini *Bacteria* descrites fins ara.<sup>11</sup> Com veiem, diferents tipus de microorganismes habiten en molts ambients diferents del cos humà i solament alguns són patògens (taula 2). La relació entre microorganismes sapròfits, fins i tot beneficiosos i imprescindibles, i els clarament nocius, fins i tot mor-

11. BÄCKHED *et al.* (2005).

tals, no sempre és clara. Depèn d'un delicat equilibri entre l'hoste i el microbi, i de les condicions del medi. Aquest equilibri és el factor que marca la profunda diferència entre salut i malaltia, i, finalment, entre vida i mort.

### ***HELICOBACTER PYLORI*: AMIC O ENEMIC?**

#### ABANS DEL DESCOBRIMENT: L'ENIGMA

Com s'ha esmentat abans, alguns anatomopatòlegs ja van observar la presència de bacteris en forma d'espitals en els estòmacs dels humans abans de 1906, però les observacions no van rebre gaire atenció, principalment perquè aquests bacteris no es podien cultivar. A més, es pensava que l'estómac no podia tenir bacteris, a causa del baix pH degut a l'àcid gàstric. El cultiu d'un nou microorganisme (el bacteri *Helicobacter*) de la mucosa gàstrica en 1982 va ser el punt d'inici d'una nova era en l'estudi de l'ecologia de la microbiota gastrointestinal i de la malaltia.

Tradicionalment, les úlceres gàstriques eren considerades una conseqüència de l'estrès i d'un excés d'àcid. Aquesta suposició va trobar suport en la disminució del dolor en pacients tractats amb agents que reduïen l'acidesa gàstrica. En alguns casos semblava que el pacient es guaria, però l'acidesa tornava a «aparèixer» quan s'interrompia la medicació. Aquests fàrmacs eren una important font d'ingressos per a les indústries farmacèutiques que els fabricaven, les quals van mostrar poc interès per promoure i acceptar altres alternatives per explicar la malaltia d'úlceres gastroduodenal.

Com s'ha dit, el Premi Nobel de Fisiologia o Medicina de l'any 2005 reconeix el treball de dos metges australians, Marshall i Warren, pel descobriment de l'origen infeccios de l'úlceres gàstrica. Aquest descobriment ha canviat no sola-



ment el diagnòstic, pronòstic i tractament de la gastritis, l'úl-cera o, fins i tot, el càncer d'estómac, sinó que també ha modificat el pensament respecte a les relacions que els micro-organismes poden establir amb el cos humà.

#### EL DESCOBRIMENT: MARSHALL I WARREN, 1982

Marshall i Warren havien observat sovint bacteris helicoides en teixits ulcerats i malignes. Van buscar una raó de la presència dels bacteris i van avançar la hipòtesi que era el bacteri la causa de l'úl-cera gastroduodenal, i no l'estrès com establia el dogma mèdic. Per provar aquesta idea, Marshall va ingerir voluntàriament un cultiu axènic del bacteri aïllat d'un pacient malalt amb úl-cera i va desenvolupar els símptomes inicials típics de la malaltia. Afortunadament, el tractament amb antibiòtics el va curar. Pràcticament cent anys després de Koch, i seguint la mateixa base conceptual, s'havia arribat a la identificació de l'agent etiològic d'una malaltia.<sup>12</sup> El bacteri aïllat era gramnegatiu, tenia una forma espiral, presentava flagels en ambdós pols de la cèl·lula i es va classificar dins el grup dels epsilonproteobacteris. Al principi, es pensava que el nou microorganisme era una nova espècie de *Campylobacter*, però després se li va donar el nom actual, *Helicobacter pylori* (figura 5).

*Helicobacter* és un microorganisme *exigent* (*fastidious*, en anglès), que s'ha de cultivar en un medi ric complementat amb sang, ciclodestrina, etc. Necessita condicions de microaerofília, i algunes soques són auxotròfiques per a l'arginina, histidina, leucina, isoleucina, metionina i fenilalanina. Quan Marshall intentava aïllar els bacils que observava en les biòpsies gàstriques, els incubava com si es tractés d'un

12. MARSHALL I WARREN (1984).

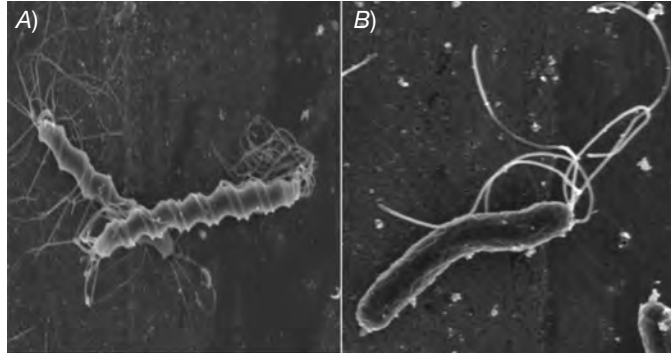


FIGURA 5. A) Micrografia amb el microscopi electrònic de rastreig d'*Helicobacter pylori* aïllat de l'epiteli gàstric humà. S'aprecia la forma corbada del bacteri, la presència de flagels múltiples en els dos pols i l'absència de fibril·les en l'espai periplasmàtic (al voltant de tota la cèl·lula). B) Micrografia amb el microscopi electrònic de rastreig d'*Helicobacter felis* aïllat de la mucosa gàstrica d'un gat. S'aprecia la forma espiral del bacteri i la presència de fibril·les periplasmàtiques. (Micrografies de Lucinda Thompson, publicades a *Int. Microbiol.*, núm. 8, p. 231-234, amb permís de la revista.)

88

*Campylobacter* (microaerofília i 48 hores), però el nou bacteri, aparentment, no creixia. L'èxit va arribar quan va marxar de vacances uns dies i es va oblidar de treure les plaques de l'estufa d'incubació. A la tornada, cinc dies després, va trobar colònies diminutes del bacteri que tantes vegades havia intentat cultivar. *Helicobacter* s'ha d'incubar un mínim de cinc dies a 37 °C i no utilitza carbohidrats, perquè necessita altres fonts de carboni més especialitzades.

En cultius recents (frescos), les cèl·lules tenen una morfologia espiral o helicoide, però després de prolongats períodes d'incubació o de tractament amb concentracions subinhibitòries d'antibiòtics canvien a una forma coccoide. Encara es desconeix si aquestes cèl·lules coccoïdes d'*Helicobacter* es troben en un estat *viable però no cultivable* (VBNC,

## QUADRE 2

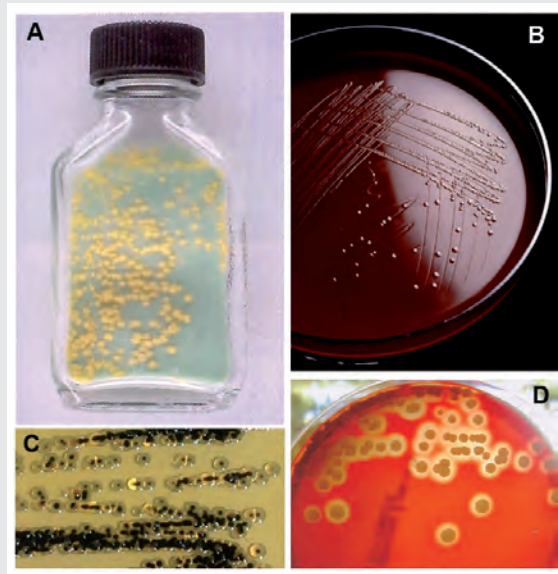
### Diagnòstic i cultiu d'*Helicobacter pylori*: un microorganisme exigent

Els microorganismes exigents són aquells que són difícils de cultivar en medis habituals i requereixen medis molt rics i períodes d'incubació llargs. Dins d'aquesta categoria de microorganismes s'inclouen molts patògens, com ara *Legionella* (legionel·losi), *Neisseria* (meningitis, gonorrea), *Haemophilus* (infeccions de l'aparell respiratori, meningitis infantils), *Mycobacterium* (tuberculosi), *Mycoplasma* (infeccions genitals), *Helicobacter* (úlceres), i d'altres. Algunes de les recomanacions per a la detecció i cultiu d'aquests microorganismes són les següents: *Legionella* (medi amb carbó actiu, extracte de llevat, incubació en aerobiosi a 35 °C, atmosfera humida durant cinc dies); *Neisseria* (un medi molt ric, com ara agar de Thayer-Martin o agar xocolata, incubació a 37 °C, atmosfera humida i enriquida amb CO<sub>2</sub>, durant 24 h); *Haemophilus* (medi base BHI [*brain heart infusion*], hemina i NADH, incubació a 37 °C durant 24-48 h); *Mycobacterium* (medi Löwenstein-Jensen, a 37 °C, 5-10 % CO<sub>2</sub> de sis a vuit setmanes); *Mycoplasma* (medi SP4 o medi base BHI amb glucosa, arginina, extracte de llevat, sèrum boví i penicil·lina; a 35 °C en una atmosfera de CO<sub>2</sub> al 5 %, quatre dies o més).

Per cultivar *Helicobacter pylori* s'utilitza agar Skirrow o agar Thayer-Martin, complementat amb sang; de vegades també s'hi afegeixen alguns antibiòtics (per exemple, vancomicina, 6 mg/l; àcid nalidíxic, 20 mg/l; amfotericina, 2 mg/l), als quals el bacteri és resistent. *Helicobacter* necessita condicions de microaerofília (l'òptim és un 5 % d'oxigen), una elevada humitat i incubació a 35-37 °C de cinc a set dies.

La detecció d'*Helicobacter pylori* es pot fer mitjançant un mètode invasiu, a partir d'una mostra del teixit que s'inocula en plaques de medi de cultiu. Entre els mètodes no invasius hi ha el test de la urea i el test serològic amb anticossos. El test de la urea consisteix a administrar per via oral una solució d'àcid cítric i deu minuts després urea-<sup>13</sup>C (és a dir, marcada amb un isòtop

del carboni pesant, però no radioactiu). Una de les característiques d'*H. pylori* és la producció d'ureasa, un enzim que trenca la urea en amoni i  $\text{CO}_2$ . Si una persona està infectada amb *H. pylori*, és capaç de trenca la urea administrada, amb la qual cosa el  $^{13}\text{CO}_2$  passa al torrent sanguini i als pulmons, on és alliberat a l'exterior. Les mostres d'alè s'agafen deu, vint, trenta i seixanta minuts després d'administrar la urea- $^{13}\text{C}$ . Amb un espectrofòtmetre de masses es mesura la relació  $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ . Si hi ha un excés de  $^{13}\text{CO}_2$ , el pacient està infectat per un *H. pylori* actiu (Guerrero i Berlanga, 2000).



Diferents medis de cultiu bacterians: A) *Mycobacterium tuberculosis* en agar Löwenstein-Jensen. B) *Helicobacter pylori* en agar xocolata. C) *Salmonella typhimurium* en medi Salmonella-Shigella. D) *Staphylococcus aureus* betahemolític en agar sang.  
Imatge preparada per la doctora Mercè Berlanga.

*viable but non-culturable*; nom proposat per Rita R. Colwell en 1982), si tenen alguna rellevància epidemiològica o si aquest estat es correlaciona amb la degeneració i mort cel·lular en teixits.

Les cèl·lules d'*Helicobacter* en estat VBNC són resistents als medicaments que s'utilitzaven abans en el tractament de les úlceres. Això suggereix que la recurrència d'aquestes lesions podria estar causada per la «reanimació» de les cèl·lules que estaven en l'estat VBNC després d'interrompre el tractament. A més, podria explicar la via de transmissió a través d'aigua contaminada amb *Helicobacter* (encara no està provada aquesta hipòtesi). *Helicobacter* podria persistir en l'ambient en aquest estat «inactiu» fins a trobar un hoste susceptible, per a iniciar així un nou cicle infecciós.

Els microorganismes es troben normalment en medis hostils i canviant. Sembla raonable, doncs, que hagin desenvolupat estratègies de supervivència, sistemes de defensa per a fer front a les condicions adverses i mecanismes de control actius que facilitin l'adaptació de la cèl·lula microbiana a les noves situacions. Moltes espècies bacterianes alternen dos estats morfogènics, que constitueixen una especialització funcional: un estat «actiu» de creixement i un estat «d'espera» (*stand-by*). Aquests dos estats permeten als bacteris créixer quan les condicions són òptimes i restar «adormits» a l'espera de noves condicions favorables.

Els bacteris en estat VBNC no poden formar colònies en els medis sòlids habituals. Són cèl·lules amb una dràstica reducció metabòlica. Les cèl·lules entren en aquest estat com a resposta a algun tipus d'estrès natural, a la manca de nutrients, temperatures desfavorables, concentracions osmòtiques elevades, concentració d'oxigen alta, etc. La possibilitat de presentar un estat VBNC s'ha descrit en unes seixanta espècies bacterianes. Entre aquestes espècies es troben molts patògens humans, com *Campylobacter* spp., *Helicobacter*

*pylori*, *Escherichia coli* (incloent soques EHEC), *Francisella tularensis*, *Legionella pneumophila*, *Listeria monocytogenes*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Pseudomonas aeruginosa*, algunes *Salmonella*, *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *V. parahae-molyticus* i *V. vulnificus*.

En països en vies de desenvolupament, del 70 al 90 % de la població és portadora d'*Helicobacter pylori*; en canvi, en els països desenvolupats la prevalença és menor, entre el 25 i el 50 %, encara que hi ha diferències segons les classes socials, i que algunes minories ètniques en registren una elevada incidència a pesar de l'avançament econòmic general. Normalment, el bacteri s'adquireix durant la infància i, un cop colonitzat, l'hoste pot estar infectat de per vida, si no rep un tractament amb antibiòtics.

La capacitat de colonitzar l'estómac humà i de persistir-hi durant anys indica que *Helicobacter pylori* s'ha adaptat específicament a ocupar aquest hàbitat, i que aquesta adaptació és conseqüència d'unes capacitats fisiològiques úniques, com ara la colonització, l'adhesió, la resistència a la rentada d'estómac, la protecció contra el sistema immunitari del receptor i la capacitat de transmissió a un altre hoste.

La via de transmissió d'*Helicobacter pylori* d'un individu a un altre encara no es coneix bé. L'únic reservori conegut és l'espècie humana. S'ha suggerit que la transmissió de persona a persona podria fer-se per la via fecal-oral, oral-oral o gàstrica-oral; això podria explicar la seva incidència alta en poblacions en què les condicions higièniques són deficientes. Les mosques són abundants en aquests llocs i estan en contacte directe amb la femta humana i les restes de menjar. S'han fet experiments per a veure si les mosques són un reservori o vector d'*Helicobacter pylori* o no. Després de criar mosques en contacte amb plaques amb cultius axènics d'*Helicobacter pylori*, s'ha aïllat el bacteri en el cos, intestí i excrements dels insectes. En mosques «lliures» (no del labo-

ratori) s'ha detectat només la presència de DNA d'*Helicobacter*; tampoc no s'ha aïllat de mosques contaminades amb femta humana. El control efectiu de la població de mosques no impedeix la infecció amb *Helicobacter pylori*.<sup>13</sup>

#### DESPRÉS DEL DESCOBRIMENT: EL PARADIGMA

Alguns microorganismes en el cos humà utilitzen les mucoses com a protecció. És el cas d'*Helicobacter pylori*, que per la seva forma i per la possessió de flagels pot nedar per la capa de mucus de l'estómac. En aquesta zona, *Helicobacter* troba protecció contra l'inhòspit ambient àcid del lumen gàstric. De fet, *in vitro* s'ha demostrat que *Helicobacter pylori* mor ràpidament quan el pH del medi és de 2 o inferior. És possible que el bacteri entri a l'estómac amb els aliments, que el «protegeixen» contra l'àcid. A més, *Helicobacter* té una característica metabòlica molt especial: produeix una gran quantitat d'ureasa, un enzim que descompon la urea en amoni i CO<sub>2</sub> i eleva a 6 el pH que envolta els bacteris. Aquesta estratègia li permet sobreviure prou temps per a arribar a la capa de mucus gàstric, on hi ha un gradient de pH que va des de l'acidesa, en el lumen, fins a la neutralitat, en la superfície de les cèl·lules de l'epiteli. *Helicobacter pylori* utilitza aquest gradient per orientar-se dins d'aquesta capa.<sup>14</sup>

*Helicobacter pylori* pot causar una inflamació aguda i crònica de l'estómac, però la magnitud de la inflamació pot variar de persona a persona. En la majoria de persones infectades, no hi ha conseqüències clíniques. No obstant això, entre un 10 i un 20 % dels infectats poden desenvolupar algunes de les quatre malalties que s'han descrit per a *Helicobacter pylori*.

13. ALLEN *et al.* (2004).

14. MARSHALL i WINDSOR (2005).

*cobacter pylori*: gastritis, úlcera gastroduodenal, limfoma associat a la mucosa (MALT, *mucosal-associated lymphoid tissue*) i, amb baixa freqüència, adenocarcinoma. Normalment, el tractament amb antibiòtics eradica l'organisme en un 80 % de les persones infectades. El tractament estàndard consisteix en l'administració de tres fàrmacs, dos cops al dia, durant una setmana: un inhibidor de la bomba de protons i dos antibiòtics, amoxicil·lina i claritromicina. Atès l'augment de resistència a aquest tractament, s'ha canviat a una terapèutica quàdruple (bismut, inhibidor de la bomba de protons i dos antibiòtics) de deu a catorze dies.<sup>15</sup>

Per a la colonització i supervivència a l'estómac, *Helicobacter pylori* necessita ureasa i flagels. La ureasa, com s'ha indicat anteriorment, metabolitza la urea a amoni i CO<sub>2</sub>, que amorteixen l'àcid gàstric. Els flagels permeten que el bacteri nedi en aquest medi viscos fins a trobar el pH idoni. Quant a altres factors de patogenicitat, *Helicobacter pylori* utilitza com a mínim cinc adhesines (factors bacterians d'adhesió) diferents per unir-se a l'epiteli gàstric. Els aïllats clínics es poden agrupar en dos tipus, tipus I i II, que s'associen amb diferents manifestacions clíniques, que van des d'úlcera i gastritis fins a la colonització asimptomàtica. Les soques de tipus I tenen dues proteïnes relacionades amb la infecció, CagA i VacA. Les soques de tipus II només tenen VacA. La proteïna CagA, codificada en un illot de patogenicitat i de 120 kDa, és una citotoxina associada a l'antigen A i molt immunògena. La proteïna VacA indueix múltiples activitats cel·lulars, com la vacuolització, la formació de canals en la membrana, l'alteració de la funció endosomal-lisosomal, la destrucció de la integritat de l'epiteli, l'apoptosi i la immunomodulació.<sup>16</sup>

15. McLOUGHLIN *et al.* (2005).

16. RADOSZ-KOMONIEWSKA *et al.* (2005).

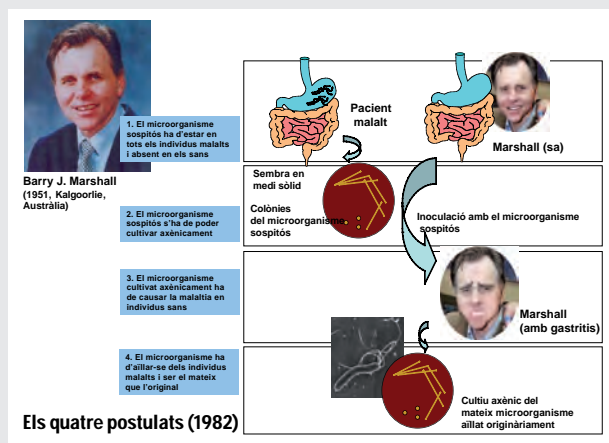


### QUADRE 3

#### Vigència dels postulats de Koch. El cas d'*Helicobacter*

Si una cosa recorden els estudiants de microbiologia del que va fer Koch són els seus famosos postulats. Una altra història és que també recordin què diuen aquests postulats (vegeu la p. 76) i la seva importància clínica i microbiològica. Els postulats de Koch són un conjunt de procediments seriatos destinats a provar que un microorganisme específic és l'agent causal d'una malaltia determinada (figura 4). Koch va proposar diferents criteris per establir la relació de causalitat microorganisme-malaltia, però fins al 1884 no va publicar els postulats tal com els coneixem ara. El 1883, Friedrich Löffler (1852-1915) havia descrit com es podia demostrar que la diftèria era causada per un microorganisme: 1r) l'organisme ha d'estar present en una forma característica en el teixit infectat; 2n) l'organisme que pel seu comportament sembla la causa de la malaltia, ha d'aïllar-se en cultiu axènic; 3r) el cultiu axènic ha d'induir la malaltia experimentalment. De fet, són els postulats de Koch (el primer que hem dit inclou el primer i el segon postulat de Koch), però escrits abans per Löffler! Amb el treball sobre la tuberculosi (fet el 1882), Koch discuteix la necessitat d'aïllar el patògen en cultiu axènic i d'induir la malaltia experimentalment en un animal de laboratori com el ratolí. Però amb el còlera (1883) es va enfrontar a un repte: produir la malaltia en un animal experimental. Koch va trobar que totes les persones amb còlera tenien un bacteri molt mòbil en forma de coma (*Vibrio cholerae*), i va aconseguir obtenir-lo en cultiu axènic, però els ratolins inoculats amb el bacteri aïllat no presentaven la malaltia. La dificultat de disposar de models animals adequats ha estat un problema en la investigació mèdica des dels temps de Koch. De vegades cal recórrer a les infeccions humanes degudes a accidents en el laboratori, com és el cas d'un investigador del laboratori de Koch (Max von Pettenkofer), que va ingerir accidentalment un cultiu de *V. cholerae* i va manifestar, ara sí, la malaltia.

Els postulats de Koch no són l'única via per a demostrar l'etiologia d'una malaltia, ja que hi ha malalties que se sap quin microorganisme les produeix però no compleixen el segon postulat. Per exemple, *Treponema pallidum*, agent causal de la sífilis, no ha pogut ser cultivat *in vitro*. Un cas similar és la lepra, produïda per *Mycobacterium leprae*. Tampoc en els virus es pot aplicar el segon postulat, ja que només poden multiplicar-se en cultius bimembres (amb virus i cèl·lules hostes). Per determinar l'agent etiològic d'una infecció vírica s'utilitzen els postulats de Rivers, enunciats en 1932: 1r) l'agent víric ha de trobar-se en els fluids o cèl·lules infectades d'un hoste; 2n) l'agent víric obtingut a partir d'un hoste infectat ha de causar la malaltia en un altre hoste sa i ha d'induir la síntesi d'anticossos; 3r) els agents vírics aïllats de l'hoste infectat d'aquesta manera han de transmetre la malaltia a un altre hoste.



Els postulats de Marshall: cent anys després de Koch, continuen sent vàlides les idees fundacionals de la microbiologia. Imatge preparada per la doctora Mercè Berlanga.

El 1900, el d'estómac era el càncer més letal als EUA; l'any 2000, en canvi, la seva incidència i mortalitat havien baixat més del 80 %, i s'havia situat per sota del càncer de còlon, de pròstata, de mama o de pulmó. Existeix una relació entre la regressió d'*Helicobacter pylori* i aquest canvi. No obstant això, durant aquest mateix període i coincidint amb la «desaparició» d'*Helicobacter*, s'ha produït un augment en la incidència d'unes altres malalties esofàgiques (per exemple, l'esòfag de Barrett —Barrett's syndrome— i l'adenocarcinoma) degudes al reflux del contingut gàstric. Sembla que la colonització de l'estómac per *Helicobacter* protegeix l'esòfag. Les soques amb CagA (les més virulentes pel que fa a provocar úlcers i càncer) són les que proporcionen una major protecció de l'esòfag.<sup>17</sup>

El grau d'acidesa determina la persistència o eliminació d'*Helicobacter*. Massa àcid el mata, però un nivell baix podria permetre la colonització d'altres bacteris com *Escherichia coli*, que podrien envair el seu nínxol ecològic. *Helicobacter* ha desenvolupat la capacitat de regular l'acidesa del seu entorn. Quan l'acidesa és molt alta, sintetitza la proteïna CagA en gran quantitat. Aquest fet provoca una resposta inflamatòria en l'hoste, que disminueix l'acidesa mitjançant la regulació hormonal de les cèl·lules productores. Una acidesa baixa fa disminuir la síntesi de CagA i la inflamació. Les soques CagA augmenten el risc d'úlcera perquè poden provocar una inflamació crònica, però regulen el pH de l'estómac. Les malalties de l'esòfag sembla que tenen l'origen en l'exposició del teixit a un contingut gàstric d'elevada acidesa.<sup>18</sup>

17. BLASER (1999).

18. BLASER i ATHERTON (2004).

Com s'ha esmentat, al principi es va pensar que el bacteri causant de l'úlcer era un membre del gènere *Campylobacter*, i va rebre el nom de *Campylobacter pyloridis*. Posteriorment, es va corregir per *Campylobacter pylori* i, finalment, a *Helicobacter pylori* (el nou gènere *Helicobacter* es va establir el 1989). Hi ha més de vint espècies d'*Helicobacter* que poden colonitzar la mucosa gàstrica, el tub digestiu o el fetge (enterohepàtiques) dels humans i altres mamífers (hi trobem patògens entèrics humans, com ara *H. fennelliae* i *H. cinaedi*; patògens de la vesícula biliar i fetge de rosegadors, com ara *H. hepaticus* i *H. bilis*; etc.) (figura 5). Els *Helicobacter* enterohepàtics d'alguns mamífers es consideren components de la microbiota resident. No està clar si poden causar alguna malaltia en rosegadors normals o immunocompetents. En el cas de les espècies enterohepàtiques d'*Helicobacter* que afecten els humans, encara no se n'ha determinat ni la prevalença ni la possible associació amb una activitat patògena.<sup>19</sup>

Com altres bacteris que viuen en un ambient especialitzat, *Helicobacter pylori* té un genoma petit. La primera soca seqüenciada, el 1997, va ser la 26695, que té un cromosoma circular d'1,66 Mb (és a dir, 1,66 milions de parells de bases en el DNA). El segon genoma seqüenciat, el 1999, va ser la soca J99 (que té 1,64 Mb).<sup>20</sup> Les soques aïllades presenten molta diversitat al·lèlica (variacions d'un mateix gen). Es pensa que les causes que podrien contribuir a generar aquesta extraordinària diversitat genètica són una elevada freqüència de mutació i una elevada freqüència de recombinació de petits fragments de DNA d'altres soques d'*Helicobacter pylori*. L'aparent absència d'alguns gens de reparació

19. SOLNICK i SCHAUER (2001).

20. ALM *et al.* (1999).

en el genoma d'*Helicobacter* podria explicar aquesta freqüència de mutació tan gran. Però, d'altra banda, es desconeix la raó per la qual *Helicobacter* integra petits trossos de DNA aliè en el seu cromosoma; es podria pensar que és per a adaptar-se a cada hoste i d'aquesta manera persistir-hi.<sup>21</sup>

L'estudi de l'evolució del polimorfisme i variació de seqüències en les poblacions d'*Helicobacter pylori* des d'un punt de vista global contribueix a entendre la història de la migració humana i la coevolució amb aquest «patogen». L'anàlisi d'aïllats en poblacions d'Àsia oriental, d'Europa i d'Àfrica mostra que les seqüències de fragments de set gens fonamentals (*housekeeping*) i un gen de virulència (*vacA*, al·lels m1 i m2) són diferents segons el continent d'origen. La geografia genètica d'*Helicobacter* coincideix amb les propostes de Cavalli-Sforza i Diamond. Segons aquests arguments, *Helicobacter* deu formar part de la microbiota de l'estómac humà com a mínim des de fa cent mil anys, abans de les primeres migracions humanes.<sup>22</sup>

99

\* \* \*

Com a conseqüència de tot el que hem exposat, veiem que la relació patogen-malaltia no sempre és unívoca; que un microorganisme patogen (*Helicobacter pylori*) que ha estat present en les poblacions humanes des de fa molts mil·lennis, pot prevenir contra altres malalties (com l'esòfag de Barrett i l'adenocarcinoma); que molts individus que tenen el patogen no manifesten la malaltia, i que en diferents hostes (com el gat i els rosegadors) microorganismes molt semblants (altres espècies del gènere *Helicobacter*) no tenen cap efecte patogènic i poden ser considerats components de la microbiota nor-

21. KRAFT i SUERBAUM (2005).

22. COVACCI *et al.* (1999).

mal. El descobriment que ha meregut el Premi Nobel de l'any 2005 ens ensenya que la interacció patògen-malaltia és una relació ecològica complexa que necessita ser estudiada més profundament per tal d'arribar a una millor comprensió de les malalties infeccioses i per aconseguir un tractament més eficaç contra els microorganismes patògens.

## BIBLIOGRAFIA

### Obres i articles citats

- ALLEN, S. J.; THOMAS, J. E.; ALEXANDER, N. D. E.; BAILEY, R.; EMERSON, P. M. (2004). «Flies and *Helicobacter pylori* infection». *Archives of Disease in Childhood*, núm. 89, p. 1037-1038.
- ALM, R. A.; LING, L. S. L.; MOIR, D. T. [et al.](1999). «Genomic-sequence comparison of two unrelated isolates of the human gastric pathogen *Helicobacter pylori*». *Nature*, núm. 397, p. 176-180.
- BÄCKHED, F.; LEY, R. E.; SONNENBURG, J. L.; PETERSON, D. A.; GORDON, J. I. (2005). «Host-bacterial mutualism in the human intestine». *Science*, núm. 307, p. 1915-1920.
- BLASER, M. J. (1999). «Hypothesis: the changing relationships of *Helicobacter pylori* and humans: Implications for health and disease». *Journal of Infectious Diseases*, vol. 179, núm. 6, p. 1523-1530.
- BLASER, M. J.; ATHERTON, J. C. (2004). «*Helicobacter pylori* persistence: biology and disease». *Journal of Clinical Investigation*, núm. 113, p. 321-333.
- BROCK, T. D. (1966). *Principles of Microbial Ecology*. Englewood Cliffs (Nova Jersey, EUA): Prentice Hall.
- COVACCI, A.; TELFORD, J. L.; DEL GIUDICE, G.; PARSONNET, J.; RAPPUOLI, R. (1999). «*Helicobacter pylori* virulence

- and genetic geography». *Science*, núm. 284, p. 1328-1333.
- DOBELL, C. (1932). *Antony van Leeuwenhoek and his 'Little Animals'*. Nova York: Russell & Russell.
- GUERRERO, R. (2005). «Year's comments». *International Microbiology*, núm. 8, p. 231-234.
- GUERRERO, R.; BERLANGA, M. (2000). «Isótopos estables: fundamento y aplicaciones». *Actualidad SEM*, núm. 30, p. 17-23.
- HALL-STOODLEY, L.; COSTERTON, J. W.; STOODLEY, P. (2004). «Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases». *Nature Reviews Microbiology*, núm. 2, p. 95-108.
- HENKE, J. M.; BASSLER, B. L. (2004). «Bacterial social engagements». *Trends in Cell Biology*, vol. 14, núm. 11, p. 648-656.
- KRAFT, C.; SUERBAUM, S. (2005). «Mutation and recombination in *Helicobacter pylori*: Mechanisms and role in generating strain diversity». *International Journal of Medical Microbiology*, vol. 295, núm. 5, p. 299-305.
- MALOY, S.; SCHAECHTER, M. (2006). «The era of microbiology: a Golden Phoenix». *International Microbiology*, vol. 9, núm. 1, p. 1-7.
- MARSHALL, B. J.; WARREN, J. R. (1984). «Unidentified curved bacilli in the stomach of patients with gastritis and peptic ulceration». *The Lancet*, núm. 16, p. 1311-1315.
- MARSHALL, B. J.; WINDSOR, H. M. (2005). «The relation of *Helicobacter pylori* to gastric adenocarcinoma and lymphoma: pathophysiology, epidemiology, screening, clinical presentation, treatment, and prevention». *Medical Clinics of North America*, vol. 89, núm. 2, p. 313-344.
- McLOUGHLIN, R. M.; O'MORAIN, C. A.; O'CONNOR, H. J. (2005). «Eradication of *Helicobacter pylori*: recent

advances in treatment». *Fundamental and Clinical Pharmacology*, núm. 19, p. 421-427.

RADOSZ-KOMONIEWSKA, H.; BEK, T.; JÓZWIAK, J.; MARTIROSIAN, G. (2005). «Pathogenicity of *Helicobacter pylori* infection». *Clinical Microbiology and Infection*, vol. 11, núm. 8, p. 602-610.

SOLNICK, J. V.; SCHAUER, D. B. (2001). «Emergence of diverse *Helicobacter* species in the pathogenesis of gastric and enterohepatic diseases». *Clinical Microbiology Reviews*, vol. 14, núm. 1, p. 59-97.

STOODLEY, P.; SAUER, K.; DAVIES, D. G.; COSTERTON, J. W. (2002). «Biofilms as complex differentiated communities». *Annual Review of Microbiology*, núm. 56, p. 187-209.

#### Articles generals

BLASER, M. J. (1996). «Origen bacteriano de la úlcera de estómago». *Investigación y Ciencia*, núm. 235 (abril), p. 54-59.

BLASER, M. J. (2005). «*Helicobacter pylori*». *Investigación y Ciencia*, núm. 343 (abril), p. 6-13.

MARSHALL, B. J. «Helicobacter connections». A: *Nobelprize.org* [en línea]. <[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/2005/marshall-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2005/marshall-lecture.pdf)>.

MARTÍN DE ARGILA, C. (2001). «*Helicobacter pylori* y enfermedades extradigestivas». *Actualidad SEM*, núm. 31, p. 15-18.

WARREN, J. R. «Helicobacter - The ease and difficulty of a new discovery». A: *Nobelprize.org* [en línea]. <[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/2005/warren-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2005/warren-lecture.pdf)>.



## Obres generals

MARSHALL, B. [ed.] (2002). *Helicobacter pioneers: Firsthand accounts from the scientists who discovered helicobacters 1892-1982*. Oxford: Blackwell. ISBN 0-86793-035-7.

MOBLEY, H. L.; MENDZ, G. L.; HAZELL, S. L. [ed.] (2001). *Helicobacter pylori: Physiology and genetics*. Washington: ASM Press. ISBN 1-55581-213-9.

## WEBS

<http://www.helicobacterspain.com>: web d'*Helicobacter* en espanyol, feta pels departaments de microbiologia de diferents hospitals i universitats.

<http://www.helico.com>: web de l'*Helicobacter* Foundation, creada per B. J. Marshall el 1994.

<http://www.cdc.gov>: web dels Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA, EUA.

<http://www.asm.org>: web de l'*American Society for Microbiology*, Washington, EUA.



**ELS PREMIS NOBEL  
DE L'ANY 2005  
SOBRE EL  
PREMI NOBEL DE LITERATURA  
CONCEDIT A  
HAROLD PINTER,  
PER MIREIA ARAGAY,  
DEL DEPARTAMENT DE FILOGIA  
ANGLESA I ALEMANYA  
DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA**

## LA REVOLUCIÓ TEATRAL DE HAROLD PINTER

### RESUM

La concessió del Nobel de Literatura a Harold Pinter significa el reconeixement a un autor que al llarg de la seva carrera ha renovat el llenguatge teatral per partida doble i s'ha entestat a reivindicar el dret a la dissidència. En una primera etapa, fins ben entrada la dècada dels anys setanta, una obra darrere l'altra, va trastornar profundament l'horitzó d'expectatives del públic contemporani i va forjar una nova manera d'estructurar la interacció verbal damunt de l'escenari, explotant fins a límits insospitats els recursos inherents a la pròpia naturalesa interactiva del llenguatge dramàtic. No veu el llenguatge com una via d'accés objectiva i transparent a la realitat, a la veritat, sinó que entén que l'accés a la realitat —present i passada— està per definició mediatitzat pel llenguatge i, per tant, per un ordre cultural i discursiu concret. En una segona etapa, a partir dels primers anys vuitanta, el teatre de Pinter es fa obertament polític i reflecteix incansablement la idea que el llenguatge és allò que fem per a distorsionar o amagar la realitat, els fets o la veritat posant en escena dues menes de personatges, uns que ocupen posicions de poder i uns altres que estan en condicions d'inferioritat innegable. Els primers fan un ús manipulador i opressor dels recursos del llenguatge. Els segons proven d'erigir-se, si els és donat de parlar, en portaveus de la realitat, tot reivindicant la importància de la funció referencial del llenguatge.

106

PARAULES CLAU: llenguatge, realitat, veritat, política, art, postmodernisme, diàleg.

## ABSTRACT

The concession of the Nobel Prize in Literature to Harold Pinter means the recognition to an author who along his career has renewed two times the theatrical language and insisted to claim the right to the dissent. In a first stage, until well entered the decade of the seventy, a work behind the other one, disturbed deeply the horizon of expectations of the contemporary public and a new form of structuring forged the verbal interaction on the stage, exploiting the resources inherent to the interactive nature of the dramatic language until unsuspected limits. He does not see the language like an objective and transparent pathway to the reality, to the truth, but he understands that the access to the reality —present and past— is by definition mediated by the language and, therefore, by a concrete cultural and discursive order. In a second stage, from the first eighty, the theatre of Pinter is made openly political and the idea that the language is that reflects tirelessly that we employ to distorting or hiding the reality, the facts or the truth putting on the scene two kinds of characters, some that occupy positions of power and other that are in conditions of undeniable inferiority. The first make a use manipulative and oppressive of the resources of the language. The seconds try to erect themselves, if it is given them of speaking, in spokesmen of the reality, while claiming the importance of the referential function of the language.

KEY WORDS: language, reality, truth, politics, art, postmodernism, dialogue.

«Art, veritat i política» és el títol de l'al·locució que Harold Pinter (Londres, 1930) va adreçar a l'Acadèmia Sueca la tarda del 7 de desembre de 2005, en versió preenregistrada a causa del seu delicat estat de salut. Per a qui conegui mínimament l'obra de Pinter, un títol d'aquesta mena, que recull tres de les seves passions, era força previsible. Pinter és un home apassionat. Vam tenir el privilegi de comprovar-ho de primera mà durant la «Tardor Pinter», que es va celebrar a Barcelona el 1996, organitzada per la Sala Beckett i el British Council, i molt especialment durant l'entrevista pública, multitudinària, que va tenir lloc al Centre de Cultura Contemporània de Barcelona aquell desembre.<sup>1</sup> Apassionat pel teatre —com a dramaturg, però també com a actor i director—, per la veritat i per la política. Ara bé, la relació entre els tres termes —art, veritat i política— ha estat sempre la mateixa per a Pinter al llarg de les cinc dècades que fa que es dedica a l'ofici d'escriure? Des de mitjan anys vuitanta, l'aparició d'obres obertament polítiques com *One for the Road* (*L'última copa*, 1984), *Mountain Language* (*El llenguatge de la muntanya*, 1988), *Party Time* (*Temps de festa*, 1991) i *Ashes to Ashes* (*I a la pols tornaràs*, 1996), i dels esquetxos *Precisely* (*Precisament*, 1983), *The New World Order* (*El nou ordre mundial*, 1991) i *Press Conference* (*Conferència de premsa*, 2002) ha dut els crítics a preguntar-se si representen un canvi d'orientació en la carrera del dramaturg o bé si, al contrari, no s'ha produït tal disconti-

1. L'entrevista en qüestió, conduïda per Mireia Aragay i Ramon Simó, es va publicar amb el títol «Writing, Politics and *Ashes to Ashes*: An Interview with Harold Pinter» a *The Pinter Review: Annual Essays*, 1997, p. 4-15. Va ser reproduïda a PINTER (1998), p. 58-70. Una versió en castellà, lleugerament reduïda i amb el títol «El teatro es entusiasmo, pasión, compromiso: entrevista con Harold Pinter», va aparèixer a *Primer Acto*, núm. 282 (2000), p. 3-9, separata.

nuïtat, ja que la seva obra ha estat política des de bon començament. Per abordar aquesta qüestió, parlarem d'art —de teatre—, de veritat i de política. Inevitablement, però, parlarem també de llenguatge, perquè si algun argument entrelliga com un fil conductor totes les obres de Pinter, des de les primeres fins a les més recents, i apareix també repetidament en els seus textos no dramàtics, incloent-hi el discurs del Nobel, és el de la relació entre llenguatge i realitat, llenguatge i veritat. Això sí, aquesta preocupació pinteriana fonamental —que és, alhora, una dimensió clau de la cultura postmoderna— ha rebut dos tractaments distints en la seva obra. En termes cronològics, podem parlar d'una primera etapa que abraça des dels inicis de la seva carrera fins a finals dels anys setanta, i d'una segona que comença a mitjan anys vuitanta —tenint en compte, és clar, que les «etapes» no són mai compartiments estancs, sinó eines que utilitzem per a mirar de comprendre fenòmens fluids i complexos. En aquest marc, em referiré no a una, sinó a dues revolucions teatrals pinterianes.

109



FIGURA 1. Harold Pinter adreçant la seva al·locució, «Art, veritat i política», a l'Acadèmia Sueca el 7 de desembre de 2005. Copyright © Illuminations 2005.

«Estic disposat a arriscar tot el prestigi que pugui tenir com a crític teatral per afirmar que *The Birthday Party* no és una obra de quarta categoria, ni tan sols de segona, sinó de primera, i que el senyor Pinter [...] està en possessió del talent teatral més original, torbador i captivador de Londres». Possiblement no fóra exagerat dir que aquest judici del reconegut i influent crític Harold Hobson, publicat al *Sunday Times* el 25 de maig de 1958, va rescatar Pinter del que podia haver estat el final brusc de la seva carrera de dramaturg. L'obra a què fa referència, *The Birthday Party* (*La festa d'anniversari*, 1958), fou la primera aventura londinenca de l'autor —a la Lyric Opera House, Hammersmith, en un muntatge dirigit per Peter Wood que s'havia estrenat prèviament a l'Arts Theatre de Cambridge— i només va aguantar a la cartellera de la capital una setmana, just fins al dia abans de la publicació de la ressenya de Hobson, víctima de la «massacre» dels crítics i del rebuig del públic. Anteriorment només hi havia hagut *The Room* (*L'habitació*, 1957), peça d'un acte estrenada el 1957 a Bristol pel grup de teatre de la universitat d'aquesta ciutat. Després, fins a principis dels anys vuitanta, es van succeir, una darrere l'altra, les obres que van anar consolidant la reputació de Pinter i atraient l'atenció tant del públic com de la crítica teatral i acadèmica: *The Dumb Waiter* (*El muntaplats*, 1960); *The Caretaker* (*El vigilant*, 1960), el seu primer gran èxit de públic i de crítica; *The Homecoming* (*Qui a casa torna*, 1965); *Silence* (*Silenci*, 1969); *Old Times* (*Vells temps*, 1971); *No Man's Land* (*Terra de ningú*, 1975); *Betrayal* (*Traïció*, 1978), i *The Hothouse* (*L'hivernacle*, 1980). D'aquells anys daten també les peces escrites per a la ràdio o la televisió, i en molts casos posteriorment traslladades a l'escenari, com ara *A Slight Ache* (*Un lleuger malestar*, 1959), *A Night Out* (*Una nit fora*, 1960), *Night School* (*Escola noc-*



turna, 1960), *The Collection* (*La col·lecció*, 1961), *The Lover* (*L'amant*, 1963), *Tea Party* (*La festa del te*, 1965), *Landscape* (*Paisatge*, 1968), *Monologue* (*Monòleg*, 1973) o *Family Voices* (*Veus familiars*, 1981), així com un seguit d'esquetxos. Pinter ha escrit també poesia i un gran nombre de guions cinematogràfics, d'entre els quals destaquen les seves col·laboracions amb Joseph Losey —*The Servant* (1963), *Accident* (1966), *The Go-Between* (1969) i *The Proust Screenplay* (1972; publicat el 1977), aquest darrer no filmat—, i també *The French Lieutenant's Woman* (1981), tant per la gran acollida internacional que va tenir la pel·lícula de Karel Reisz com per l'adaptació magistral que féu Pinter de la complexa trama de la novel·la de John Fowles.

Si ens centrem, però, en la producció teatral del primer Pinter, sembla evident que fins ben entrada la dècada dels anys seixanta va trastornar profundament l'horitzó d'expectatives del públic contemporani, utilitzant la terminologia jaussiana.<sup>2</sup> D'aquí que l'adjectiu que s'emprava amb més freqüència per descriure-la fos «incomprensible» i que els crítics no s'esforcessin gaire a dissimular la seva animadversió. Resulta prou eloqüent la reacció de l'espectadora que va escriure una carta a Pinter després d'haver vist *El muntaplats*, peça d'un acte en què dos homes, Ben i Gus, esperen tancats en un soterrani sense finestres que els arribin les instruccions per una «feina» (indefinida) que han de fer, mentre pel muntaplats algú (desconegut) els envia comandes de menjar impossibles de satisfer:

Benvolgut Sr. Pinter:

Li estaria molt agraïda si tingués la gentilesa d'explicar-me el significat de la seva obra. Aquests són

2. Vegeu H. R. JAUSS (1970), «Literary History as a Challenge to Literary Theory», a JAUSS (1982), p. 3-45.

els punts que no acabo d'entendre: 1r. Qui són aquests dos homes? 2n. D'on han sortit? 3r. Hem de creure que són gent normal? Es pot fer càrrec que sense les respostes a aquestes preguntes no puc comprendre l'entrellat de la seva obra.

Atentament.

La resposta del dramaturg no es féu esperar:

Benvolguda Sra.:

Li estaria molt agraït si tingués la gentilesa d'explicar-me el significat de la seva carta. Aquests són els punts que no acabo d'entendre: 1r. Qui és vostè? 2n. D'on ha sortit? 3r. Haig de creure que és una persona normal? Es pot fer càrrec que sense les respostes a aquestes preguntes no puc comprendre l'entrellat de la seva carta.

Atentament.<sup>3</sup>

La de Pinter no és la reacció capriciosa de l'autor novell que cultiva una aurèola de misteri, sinó que va de dret a l'essència mateixa del seu primer teatre. Les preguntes de l'espectadora, a la recerca d'informació concreta sobre els personatges, apunten cap a un dels factors que configuraven l'horitzó d'expectatives contemporani, és a dir, el teatre naturalista i socialment compromès de la generació emergent dels Joves Irats, encapçalada per John Osborne i el seu *Look Back in Anger* (1956), i que inclou dramaturgs com ara John Arden, Edward Bond o Arnold Wesker, i de la posterior generació del 68, formada per Howard Brenton, David Edgar, Trevor Griffiths i David Hare entre d'altres. En canvi, la resposta de Pinter, que es nega a proporcionar informació con-

3. Cito d'*El muntaplats i L'última copa* (Barcelona, Teatre Lliure, 1987). Traducció de Josep M. Balanyà.

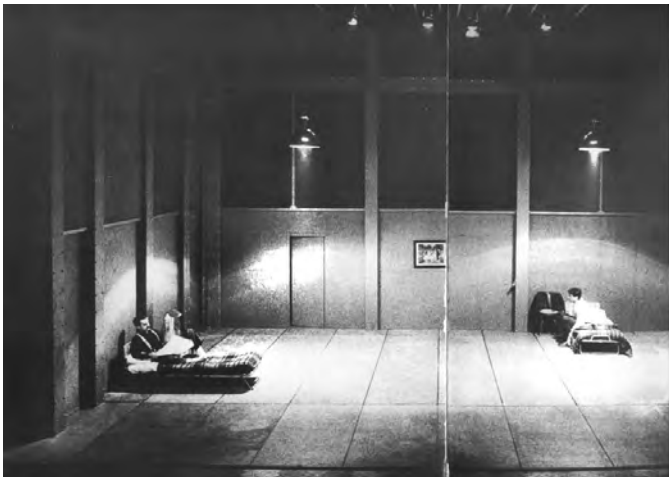


FIGURA 2. Escena d'*El muntaplats* (Teatre Lliure, Barcelona, maig 1987, directora Carme Portaceli).

creta, sembla decantar-se cap a l'altre pol de l'horitzó d'expectatives contemporani, la temàtica existencial de l'anomenat *teatre de l'absurd*, identificat primordialment amb Samuel Beckett arran de l'estrena londinenca de *Waiting for Godot* (*Tot esperant Godot*, 1953) el 1955. Fins i tot podríem afirmar, en una primera aproximació, que el teatre de Pinter és una síntesi estrictament original de la tradició naturalista d'arrel anglesa —a *El muntaplats*, Ben i Gus s'esperen en una habitació sòrdida, despullada, que sembla treta directament d'un *kitchen sink play* d'Osborne o de Wesker, i parlen un anglès del carrer, quotidià, a voltes ordinari; de fet, el mateix podem dir de *L'habitació*, *La festa d'aniversari*, *El vigilant* i *Qui a casa torna*, així com dels esquetxos corresponents al mateix període— i de la tradició de l'absurd —l'«espera» dels dos homes és, sens dubte, remissent de la dels Vladimir i Estragon beckettians.

Ara bé, alguna cosa no acaba d'encaixar en aquest plantejament. Com afirmava el mateix Pinter a «Writing for the Theatre» («Escriure per al teatre»), el discurs que va pronunciar el 1962, a l'inici de la seva carrera de dramaturg, al National Student Drama Festival celebrat a Bristol —i com ha refermat en el discurs d'acceptació del Nobel—, el punt de partida de les seves obres és sempre un context i uns personatges concrets, mai una idea abstracta o uns personatges al·legòrics que representin «la mort, el destí, el cel o la Via Làctia».<sup>4</sup> Com s'explica, doncs, la confusió de l'espectadora d'*El muntaplats* i la desorientació de tants espectadors i crítics primerencs de Pinter? La lectura o, millor encara, la posada en escena d'*El muntaplats* i de tantes altres obres de la primera època de l'autor fa evident un dels trets fonamentals de la idiosincràsia pinteriana: un ús particular i, segons aquells primers crítics, «misteriós» del llenguatge i del silenci —les famoses pauses— que aviat van batejar amb el neologisme *pinteresque*. És ben cert que, des de bon començament, la crítica pinteriana es va fixar en la textura del «llenguatge pinteresc», i hi ha opinions de tota mena respecte al punt precís en què se situa en relació amb dos extrems oposats: el refinament quasimusical del llenguatge poètic i els ritmes rudimentaris però vigorosos de la parla quotidiana. Ara bé, l'anàlisi de la textura, poeticomusical o no, del llenguatge en les obres de Pinter va en detriment de l'estructura, és a dir, del fet prou evident que el llenguatge dramàtic es basa en el diàleg. El diàleg i el seu revers, el silenci, són sense cap mena de dubte la pedra angular del món dramàtic pinterià. És aquí on cal parlar de la primera revolució teatral de

4. PINTER (1976), p. 9-16. Hi ha una traducció catalana del discurs, a càrrec de Xavier Buson, a (*Pausa.*), núm. 6 (1991), p. 12-18, i una de castellana, a càrrec de Mireia Aragay i Pilar Zozaya, a ARAGAY *et al.* (1996), p. 30-32. Les traduccions que apareixen aquí són meves.

Pinter, de la manera com, obra darrere obra, va forjar una nova manera d'estructurar la interacció verbal damunt de l'escenari, una manera inconfusiblement pròpia, però que alhora constitueix un llegat valuósíssim que li reconeix unànimement la generació més jove de dramaturgs britànics sorgida a la dècada dels anys noranta —des de Kevin Elyot i Martin Crimp, lleugerament més veterans, fins a Sarah Kane, Patrick Marber, Joe Penhall o Mark Ravenhill, entre molts d'altres. Així, en una entrevista recent, Martin Crimp ha afirmat que bona part dels recursos que hi ha a la «caixa d'eines» dels dramaturgs contemporanis els hi ha introduït Pinter.<sup>5</sup>

Però, més concretament, en què consisteixen aquests diàlegs característicament pinterians, per què resulten teatralment tan potents, i a què responen —temàticament, políticament? Per dir-ho en poques paraules, en el teatre que Pinter escriu fins a finals dels anys setanta s'hi produeix un doble fenomen. D'una banda, una notable pèrdua de pes relatiu de la funció referencial del diàleg dramàtic, l'encarregada de transmetre la informació necessària sobre les persones i els seus motius, els objectes, els llocs i els temps que formen part de l'univers del discurs dramàtic —d'aquí la desorientació d'aquella espectadora anònima d'*El muntaplats*. Paral·lelament, la funció pragmàtica —el fet que dir equival a fer, parlar a actuar o, més concretament, a interactuar— hi assoleix una prominència insòlita. Això vol dir que l'autor explota fins a límits insospitats els recursos inherents a la pròpia naturalesa interactiva del diàleg dramàtic, és a dir, al fet que el diàleg dramàtic constitueix l'acció mateixa de l'obra, sota la forma d'interacció verbal. Així doncs, qualsevol cosa que digui —o que calli— un personatge del primer Pinter està subordinada a la funció pragmàtica i, per tant, poc

5. L'entrevista amb Crimp, a càrrec de Mireia Aragay i Pilar Zozaya, es publicarà a ARAGAY i ZOZAYA (2007).

importa si és certa o no: no es tracta de verificar-ne el valor referencial —la seva relació amb la realitat, amb la veritat—, sinó de copsar-ne la càrrega pragmàtica.<sup>6</sup> Pinter ho expressava així a «Escriure per al teatre»:

Com que la paraula «realitat» és una paraula sòlida, tendim a creure [...] que l'estat a què es refereix és igualment sòlid, fix i inequívoc. Però no sembla que sigui així [...]. El llenguatge, en aquestes condicions, és un afer totalment ambigu. Sovint, sota el que es diu, hi ha el que se sap però no es diu [...]. L'expressió *manca de comunicació* [...] ha estat vinculada a la meua obra constantment. Jo opino el contrari. Crec que ens comuniquem massa bé i tot mitjançant el silenci, mitjançant allò que no diem, i que el que es produeix són evasions contínues, intents desesperats de defensa per a protegir-nos a nosaltres mateixos.<sup>7</sup>

Tornant al que deia més amunt, per mirar d'entendre com funciona el teatre del primer Pinter, què el fa vibrar, no convé acostar-s'hi amb els paràmetres coneguts del teatre naturalista ni amb l'utilitatge descodificador de símbols i al·legories que sovint demana el teatre de l'absurd. Això no són sinó pantalles de fum, afirma el dramaturg a «Escriure per al teatre». Pinter no és ni un «jove irat» ni un segon Beckett, malgrat la seva amistat amb el dramaturg irlandès i l'admiració que sent per la seva obra. El teatre del primer Pinter és acció parlada en estat pur, despullada de l'ancoratge que proporciona la funció referencial, i invita l'actor, d'una banda, i l'espectador, de l'altra, a una participació activa i total consistent a mirar de transmetre i de copsar,

6. Per a més detalls, vegeu ARAGAY (1992).

7. PINTER (1976), p. 9-16. La traducció és meua.

respectivament, per què aquell personatge ha dit allò en aquell moment precís, és a dir, quina càrrega pragmàtica tenen les seves paraules —sovint aparentment banals i inconnexes— i els seus silencis. En l'abisme que s'obre entre el que es diu o bé es calla i el que es fa amb allò que es diu o bé es calla, l'actor i l'espectador tenen un paper fonamental en el teatre de Pinter. Ho ha explicat succintament el veterà actor britànic Michael Gambon arran de la concessió del Nobel a Pinter: «Les obres de Pinter tenen una superfície d'un mil·límetre i un subtext quilomètric. Per això entusiasmen els actors.»<sup>8</sup> Peter Hall, veritable especialista en l'obra de Pinter —va dirigir els primers muntatges de *La col·lecció*, *Qui a casa torna*, *Paisatge*, *Silenci*, *Vells temps*, *Terra de ningú*, *Traïció* i *Altres llocs* (*Veus familiars*, *Una mena d'Alaska*, *Estació de França*)—, ho expressa en termes que ens retornen a dos dels eixos que hem esmentat al principi, llenguatge i veritat:

Una de les coses que més preocupa els actors quan fan Pinter és que mai pots confiar que el que es diu sigui literalment veritat. De fet, és molt més segur donar per suposat que és una estratègia més que no pas la veritat [...]. Per tant, un cop els actors [...] han après a mostrar

8. Vegeu «A Birthday Party for Harold Pinter», <http://www.telegraph.co.uk>, 28 novembre 2005. Gambon ha encarnat Jerry a l'estrena de *Betrayal* (National Theatre, Londres, 1978, director Peter Hall), Deeley a *Old Times* (Theatre Royal, Londres, 1985, director David Jones), el Sergent a l'estrena de *Mountain Language* (National Theatre, Londres, 1988, director Harold Pinter) i Davies a *The Caretaker* (Comedy Theatre, Londres, 2000, director Patrick Marber). Recentment (novembre 2005) ha participat, juntament amb Jeremy Irons, Stephen Rea i Penelope Wilton entre d'altres, en una lectura dramatitzada de *Celebration* (2000), organitzada a l'Albery Theatre de Londres arran del setanta-cinquè aniversari del dramaturg i de la concessió del Nobel.

les emocions [dels seus personatges], aleshores han d'aprendre a amagar-les [...]. Han de construir la màscara del personatge [...]. Quan Pinter no funciona damunt de l'escenari és quan els actors no segueixen el corrent, quan es treuen la màscara i mostren obertament els sentiments dels seus personatges.<sup>9</sup>

Tanmateix, la prominència de la funció pragmàtica no és un aspecte purament formal de l'obra pinteriana, sinó la clau de volta per a entendre la que, des de sempre, ha estat la preocupació temàtica fonamental del dramaturg: el principi de poder, la «pugna per a aconseguir posicions» que, segons ell explicava en una entrevista l'any 1966, es troba a la base de tota relació interpersonal.<sup>10</sup> El diàleg i la seva absència —el silenci, la pausa— esdevenen un camp de batalla en el primer Pinter, una lluita o negociació verbal permanent i gairebé sempre subreptícia. Des d'aquest punt de vista, les obres de la primera època de Pinter són polítiques en el sentit postmodernista de la paraula, i ho són des de dos punts de vista: no veuen el llenguatge com una via d'accés objectiva i transparent a la realitat, a la veritat, sinó que entenen que l'accés a la realitat —present i passada— està per definició mediatitzat pel llenguatge i, per tant, per un ordre cultural i discursiu concret. A més, entenen que qüestions com el poder i la submissió, el gènere i la sexualitat o les relacions familiars no són purament personals, sinó que assumeixen un caire públic o polític, essent com són inseparables de l'ordre cultural en què es troben immerses.

9. Catherine Itzin i Simon Trussler, «Directing Pinter», entrevista amb Peter Hall (1974), a TRUSSLER (1981), p. 76-78. La traducció és meua.

10. BENSKY (1966), p. 13-37. L'entrevista també apareix a GANZ (1972), p. 19-33. Les traduccions que apareixen aquí són meves.



L'anècdota que explica Pinter, nascut el 1930 a l'East End de Londres en el si d'una família jueva, sobre l'ambient que s'hi respirava en els anys immediatament posteriors a la Segona Guerra Mundial, il·lustra perfectament el que s'ha exposat fins ara:

[...] després de la guerra [...] els feixistes començaven a renèixer a Anglaterra [...]. Si semblaves jueu, ni que fos remotament, podies tenir problemes. A més, jo anava a un club jueu, a la vora d'un túnel de la via del tren, i sovint, en un carreró que ens agafava de camí, hi trobàvem gent esperant-nos amb ampolles de llet trencades a les mans. Hi havia un parell de maneres de sortir-se'n. La primera, és clar, era la purament física, però contra les ampolles de llet no hi podíem fer res: nosaltres no en teníem! La millor manera era parlar-los, dir-los, per exemple, «Com estàs, bé?» [«Are you all right?»], «Sí, estic bé» [«Yes, I'm all right»], «Aleshores tot va bé, no?» [«Well, that's all right then, isn't it?»]. I mentrestant, no deixar de caminar cap als llums del carrer principal.<sup>11</sup>

119

Personatges i context concrets, molt concrets, i indubtablement polítics; diàleg inquietant, tens, en què, per sota del que s'està dient, s'està dient una altra cosa, i sobretot, en què amb el que s'està dient s'està fent alguna cosa —afrontar una situació en què el poder està repartit de manera desigual, negociar-la verbalment i, segons recorda Pinter, sortir-se'n. La qüestió, en qualsevol cas, no és si la memòria de Pinter és acurada o no, sinó el fet que expliqui aquesta anècdota, i que l'expliqui justament d'aquesta manera: com una

11. BENSKY (1966), a GANZ (1972), p. 29. La traducció és meva.

destil·lació depurada, gairebé minimalista, de com funcionen els diàlegs en les obres de la seva primera època. Com ha recordat el mateix Pinter en el discurs d'acceptació del Nobel, resulta complicat fer una sinopsi de cap d'aquestes peces: el que hi passa està encarnat en els mateixos diàlegs, i s'imposa resseguir-los pacientment per anar explicitant les variacions que es van produint —a vegades mil·limètriques, d'altres sobtades i radicals— com a conseqüència de la negociació parlada de posicions entre els personatges. Vegem-ne dos exemples, procedents en aquest cas de *Qui a casa torna* (1965), obra, sens dubte, representativa d'aquesta primera fornada. El primer correspon al matrimoni format per Teddy i Ruth. Comença l'obra i arriben a casa del pare de Teddy, Max, de nit, quan tothom dorm:

RUTH: Em penso que surto a prendre l'aire.

TEDDY: L'aire?

*Pausa.*

Què vols dir?

RUTH, *s'aixeca*: Només serà un tomb.

TEDDY: A aquesta hora de la nit? Però... si acabem d'arribar. Ens hem de ficar al llit.

RUTH: Em ve de gust que em toqui l'aire.

TEDDY: Però jo me'n vaig al llit.

RUTH: Molt bé.

[...]

RUTH: No aniré lluny. Tornaré.

*Pausa.*

TEDDY: T'esperaré despert.

RUTH: Per què?

TEDDY: No penso anar-me'n al llit sense tu.

RUTH: Em dones la clau?

*La hi dona.*

TEDDY: Per què no te'n vas al llit?

Posteriorment, Ruth i Lenny, el germà mitjà de Teddy, mantenen aquesta discussió sobre un vas d'aigua:

LENNY: I ara potser ja puc enretirar el vas.

RUTH: Encara no he acabat.

LENNY: Ja n'has consumit prou, em sembla.

RUTH: Ni de bon tros.

LENNY: Ben bé prou, diria jo.

RUTH: Doncs jo no, Leonard.

*Pausa.*

LENNY: No em diguis així, si us plau.

RUTH: Per què no?

LENNY: És com em deia la meva mare.

*Pausa.*

Dóna'm el vas.

RUTH: No.

*Pausa.*

LENNY: Doncs te'l prenc.

RUTH: Si em prens el vas... jo et prenc a tu.

*Pausa.*

LENNY: I si et prenc el vas sense que tu em prenguis a mi?

RUTH: I si jo et prenc a tu i punt?

[...]

LENNY: Què passa, m'estàs fent proposicions?

*Ruthriu breument, s'acaba l'aigua del vas.*

RUTH: Oh, quina set que tenia.<sup>12</sup>

I així al llarg de tota l'obra, construïda a base dels clàssics diàlegs pinterians, en què sota el que es diu, es diuen i es fan moltes coses, i en què els personatges es comuniquen perfectament, com afirma Pinter, en aquest nivell subreptici i indirecte. L'actor, com deia Hall, no ha de deixar caure mai

12. Les traduccions són meves.



FIGURA 3. Escena de *The Homecoming*. [Aldwych Theatre, Londres, juny 1965, director Peter Hall. Vivien Merchant (Ruth) i Ian Holm (Lenny)].

la màscara. La sinopsi i l'anàlisi o interpretació de l'obra la podem anar esprement a partir de la concatenació d'aquesta mena de diàlegs. Podem afirmar que a *Qui a casa torna* es detecta una aproximació postmodernista, «micropolítica» si es vol, a la família nuclear i patriarcal entesa com a institució on es construeixen i es reproduïxen determinats rols i relacions sexuals i de gènere.<sup>13</sup> Podem assenyalar també que l'obra parteix de la clàssica situació pinteriana de l'intrús que irromp en un entorn tens però estable i en fa evidents les tibantors i els enfrontaments —aquest motiu, curull de possibilitats per qui vol, com el primer Pinter, sotmetre al microscopi l'estira i arronsa del poder en el si de les relacions interpersonals, es dona també, per exemple, a *L'habitació*, *La*

13. El concepte de *micropolítica* en relació amb el postmodernisme procedeix de CONNOR (1989), p. 224-245.

*fiesta d'aniversari, Un lleuger malestar, El muntaplats, El vigilant, Vells temps o Terra de ningú.* En aquest cas, però, l'intrús és doble: Teddy, el germà gran que torna a casa del pare, Max, després d'una absència de sis anys, i la seva dona, Ruth, l'únic personatge femení de l'obra si descomptem Jessie, la mare morta, i les dones que esmenta Lenny, el germà mitjà. Si bé Teddy torna aparentment com a triomfador —casat, amb tres fills, professor de filosofia en una universitat nord-americana—, ben aviat queda clara la dissonància de la seva relació amb Ruth i la negativa d'ella a acceptar el rol d'esposa submissa i obedient. El retorn de Teddy a la llar paterna respon a la necessitat d'assumir una posició dominant en el si d'una estructura familiar homosocial masculina —a banda de Max i Lenny, a la casa hi viuen dos homes més, Joey, el germà petit, i Sam, l'oncle— i de cercar l'aval de Max pel que fa al paper tradicional de patriarca que voldria tenir en la seva pròpia família. Ara bé, aquest aval està ben lluny de materialitzar-se, ja que Max, el suposat patriarca, està relegat a les tasques domèstiques, tradicionalment enteses com a «femenines», i són Lenny, Joey i Sam els qui vesteixen roba de carrer, treballen fora de casa i entren i surten lliurement. Assumeixen, doncs, el paper tradicionalment masculí, i Max, per bé que a contracor, està supeditat al seu domini, molt en especial al de Lenny. Podem fixar-nos, a més, que, efectivament, *Qui a casa torna* parteix d'uns personatges concrets i s'inscriu en un context també molt concret, fins al punt que és possible de situar-la en el marc de les contradiccions cada cop més evidents que es produïren després de la postguerra britànica pel que fa al model de família patriarcal tradicional i als rols sexuals i de gènere que hi van associats. També són pertinents les tensions de classe derivades del discurs de la «millora social» que cada cop s'estenia més entre la classe treballadora —cal recordar, en aquest sentit, que el retorn de Teddy suposa, també, un enfrontament de classe

entre el seu nou estatus i el nivell social molt més humil de la seva família londinenca.<sup>14</sup> Tot això i molt més podem dir —convé dir, fins i tot— sobre *Qui a casa torna*, però quan veiem l'obra en escena —o, si més no, quan la llegim— el que ens colpeix i ens interpel·la són aquells diàlegs punyents, intensos, aparentment continguts però carregats de tensió, d'acció, d'interacció —aquells diàlegs magistralment pinterians.

L'estrena londinenca de *Qui a casa torna* va ser a càrrec de Hall, que també va dirigir *Vells temps*, peça magnífica en què el matrimoni format per Deeley i Kate, de mitjana edat i de classe mitjana —a partir dels anys setanta, les obres de Pinter puguen perceptiblement de categoria social—, rep la visita d'Anna, que vint anys enrere havia compartit pis amb Kate a Londres. «Vaig escriure la pel·lícula i la vaig dirigir. Em dic Orson Welles» —aquestes paraules que pronuncia Deeley en un moment determinat condensen l'essència de *Vells temps*. D'una banda, formen part d'un seguit de referències a la seva carrera professional, estratègicament encaminades a contrarestar la sofisticació d'Anna. Des d'aquest punt de vista, són part integral de la lluita pel poder que immediatament s'estableix entre Deeley i Anna. Ara bé, l'afirmació de Deeley es torna encara més interessant quan en copsem la intertextualitat: es tracta d'una citació gairebé literal de *The Magnificent Ambersons* (1942), en què, al final de la pel·lícula, la veu en off d'Orson Welles ens informa que «Vaig escriure el guió i el vaig dirigir. Em dic Orson Welles». A més, Welles fa de narrador a *The Magnificent Ambersons*, si bé no hi apareix. Welles, doncs, s'erigeix en la figura emblemàtica del director, guionista i narrador que aspira a un control pràcticament absolut de la seva pel·lícula i que, a més, s'in-

14. Vegeu, en aquest sentit, Mireia ARAGAY, «Pinter, Politics and Postmodernism», a RABY (2001), p. 246-259.

terposa entre la realitat i el públic —la pel·lícula és, per tant, el resultat d'un procés de mediatització. Si a això hi afegim que la realitat sobre la qual versa *The Magnificent Amber-sons* no és altra que els «vells temps» i una sèrie de personatges que els rememoren, ens adonarem de la importància temàtica cabdal de les paraules de Deeley a la peça de Pinter. Des d'aquesta perspectiva, la referència a Welles apunta cap al nucli de *Vells temps*: ara un, ara l'altre, els tres personatges de l'obra malden per erigir-se en narradors dels vells temps i per imposar el seu punt de vista.

Ara bé, tal com indica la (suposada) «presència» d'Anna al començament de l'obra mentre Deeley i Kate parlen de la seva propera visita, el passat —la realitat— no té una existència pròpia a *Vells temps*; com és habitual en el primer Pinter, no hi tenim un accés directe.<sup>15</sup> Aquesta manca d'informació factual, que correspon a la pèrdua de pes relatiu de la funció referencial de què parlàvem, significa que l'actor i l'espectador han de centrar l'atenció en el fet mateix de la fabricació verbal de mons passats, perquè és aquí on rau la clau de volta de l'obra. Cap de les versions del passat que proposen Deeley, Kate i Anna, sovint mútuament contradictòries, és més o menys certa, sinó que totes i cadascuna, supeditades a la funció pragmàtica, estan al servei de la negociació de posicions entre els tres personatges. El personatge narrador controla el passat, ni que sigui momentàniament, perquè el construeix a la seva mida pel fet mateix de narrar-lo. Els dos actes que componen *Vells temps* s'estructuren a l'entorn d'una sèrie de duets narratius: si Deeley teixeix un relat, Anna s'hi torna amb un altre, i així successivament.

15. Existeix una versió televisiva magnífica de *Vells temps*, a càrrec de la BBC i dirigida per Simon Curtis (1991). John Malkovich hi encarna Deeley, Kate Nelligan és Kate i Miranda Richardson hi fa d'Anna.

Pel que fa a Kate, les seves intervencions esporàdiques culminen al final de l'obra, quan amb un únic relat anihila les possibilitats de rèplica dels altres dos, i els redueix així a un silenci impotent.

L'estructura de *Vells temps*, doncs, demana una participació activa consistent a comparar cada nova versió del passat amb les anteriors. Ara bé, no ens és permès en cap moment arribar a cap conclusió sobre quina és la «vertadera». Dit en altres paraules, no són les fallides de la memòria, la seva deterioració imparabile i inevitable —tema proustià per excel·lència; recordem que Pinter va escriure, en col·laboració amb Losey, un guió basat en l'obra de Proust que mai no s'ha arribat a filmar—, les que preocupen Pinter, sinó la possibilitat de posar en evidència la naturalesa absolutament contingent i pragmàtica de les construccions verbals dels personatges. A *Vells temps*, com a tot el primer Pinter, el llenguatge compleix funcions pragmàtiques i no referencials. Si el tema és la memòria, ho és tan sols en un sentit molt concret i gens proustià: la memòria en el sentit extrem de creació, de construir alguna cosa del no-res.<sup>16</sup> De fet, *Vells temps* és la culminació d'un procés evolutiu dins de l'obra de Pinter: aquest component narratiu de fabricació de versions del passat com a estratègia en el si de la lluita pel poder en les relacions interpersonals va en augment des de *L'habitació*, passant per *La festa d'aniversari*, *El vigilant* o *Qui a casa torna* —on la mare morta, Jessie, focalitza bona part d'aquesta activitat—, fins que a *Vells temps* abraça pràcticament tota l'obra.

És interessant, abans d'entrar de ple en el que hem anomenat la segona etapa de Pinter, aturar-nos breument

16. A «Pinter/Proust/Pinter», Thomas P. Adler ofereix una anàlisi molt perceptiva de les diferències entre tots dos autors. L'article apareix a GALE (1986), p. 128-133.



per parlar de *Traïció* (1978), una de les seves peces més representades, i fixar-nos precisament en la manera com s'hi aborda el passat, que poc té a veure amb el que hem dit fins ara.<sup>17</sup> *Traïció* reconstrueix la història d'un adulteri —entre Jerry i Emma, aquesta última casada amb Robert—, però ho fa invertint l'ordre cronològic dels fets: des de les primeres escenes, que tenen lloc a la primavera de 1977, l'obra retrocedeix fins a l'hivern de 1968. L'efecte és clar: la situació present es veu explicada retrospectivament per les experiències passades, de les quals és el resultat; el passat, per tant, es fa present davant de l'espectador o del lector, de manera que hi tenim un accés directe, objectiu —la realitat, la veritat del que va passar, es va materialitzant damunt de l'escenari o de la pàgina. A *Traïció* el passat ja no és inconstatable i, per tant, eternament —i estratègicament— reconstruïble per part dels personatges. Un canvi certament prou important per part d'un autor que, recordem-ho, anys enrere posava en dubte que la realitat fos res fix i inequívoc. En aquest sentit, *Traïció* és una mena d'obra frontissa entre els dos Pinters: les relacions interpersonals, la negociació dels rols sexuals i de gènere encara hi són fonamentals, però la realitat —passada, en aquest cas— hi apareix com un ens sòlid, inqüestionable. És a partir d'aquí que podem aproximar-nos a la segona època de Pinter, caracteritzada per una nova visió de la relació entre aquelles tres passions —art, veritat i política.

17. La temporada 2002-2003 es va poder veure un muntatge excel·lent de *Traïció* a la Sala Muntaner de Barcelona, dirigit per Xavier Albertí, que es va reestrenar la temporada següent. Vegeu, en aquest sentit, Núria SANTAMARIA (2003), «L'honestat d'una *traïció*», *L'Avenç*, núm. 278 (març), p. 65-69. A banda de les nombroses escenificacions que se n'han fet, *Traïció* té també una versió cinematogràfica de 1983, amb guió del mateix Pinter i direcció de David Jones, amb Jeremy Irons (Jerry), Ben Kingsley (Robert) i Patricia Hodge (Emma).

Tan sols existeix una realitat. Podem interpretar la realitat de diferents maneres. Però tan sols n'hi ha una. I si aquesta realitat equival als milers de persones que reben tortures fins a la mort en aquest precís instant i als centenars de milers de megatonnes de bombes nuclears que estan a punt per a ser disparades en aquest precís instant, això és així i no hi ha volta de full. Cal mirar-ho a la cara.<sup>18</sup>

El canvi d'actitud per part de Pinter pel que fa a la realitat, clarament enunciat en aquestes línies estretes d'una entrevista de 1985, es correspon amb l'aparició de les peces obertament polítiques que esmentàvem en començar, *Precisament* (1983), *L'última copa* (1984), *El llenguatge de la muntanya* (1988), *Temps de festa* (1991), *El nou ordre mundial* (1991), *I a la pols tornaràs* (1996) i *Conferència de premsa* (2002), i amb els seus posicionaments públics com a ciutadà, que s'han fet més i més explícits i visibles des de finals dels anys setanta.<sup>19</sup> El llenguatge com a constructor de realitats i de relacions no ha deixat de ser una preocupació fonamental del dramaturg; en aquest sentit, podem par-

18. Vegeu HERN (1985), p. 7-23 (original publicat el 1984). La citació prové de les p. 11-13. La traducció és meua.

19. Pinter situa el principi de la seva «conversió» el 1973, arran del cop d'estat que va derrocar Salvador Allende a Xile. Des d'aleshores, i especialment a partir del triomf electoral del Partit Conservador britànic el 1979, el dramaturg s'ha implicat en diverses activitats polítiques, des de la Campanya per al Desarmament Nuclear (CND) al Regne Unit, fins a la lluita contra la censura i la persecució dels escriptors —és membre destacat del PEN Internacional—, passant per la denúncia de la política exterior nord-americana a l'Amèrica Central i, més recentment, a l'Iraq i a l'Orient Mitjà en general, i per la seva actitud profundament crítica amb el govern de Tony Blair.

lar de continuïtat respecte de la producció anterior. Ara bé, a partir de la dècada dels anys vuitanta, en els pronunciaments públics de Pinter s'hi repeteix incansablement l'argument que el llenguatge és allò que fem per distorsionar o per amagar la realitat, els fets o la veritat: «els fets simplement no es corresponen amb el llenguatge que s'utilitza per referir-s'hi», afirmava el 1989 amb relació a la política exterior nord-americana a l'Amèrica Central.<sup>20</sup> O, més elaboradament:

Les estructures del llenguatge i les estructures de la realitat (em refereixo a allò que realment *passa*) es desplacen al llarg de línies paral·leles? La realitat es manté essencialment fora del llenguatge, separada, tossuda, aliena, no susceptible de ser descrita? La correspondència acurada i vital entre allò que *és* i la nostra percepció, resulta impossible? O és que ens veiem obligats a utilitzar el llenguatge tan sols per enterbolir i distorsionar la realitat —distorsionar el que *és*, distorsionar el que *passa*— perquè tenim por?<sup>21</sup>

Reflexió que porta Pinter a parlar de la *malaltia del llenguatge*, un llenguatge que s'ha convertit en un tapís fet de mentides. És justament aquest llenguatge corromput el que el teatre obertament polític de Pinter pretén dramatitzar i denunciar. Per fer-ho, parteix de l'existència de fets indubtables, realitats objectives i verificables —la tortura, l'amenaça nuclear, la supressió de la dissidència, la censura, la violació sistemàtica dels drets humans, l'egoisme cec de les societats

20. Declaracions recollides per Lois Gordon a GORDON (1989). Les traduccions són meves.

21. «Oh, Superman», declaracions de Pinter emeses pel Channel 4 el 31 de maig de 1990 i recollides a PINTER (1998), p. 175-182. La citació prové de la p. 182. La traducció és meua.

benestants i benpensants... Posa en escena dues menes de personatges, els que ocupen posicions de poder polític —el torturador a *L'última copa*, els soldats a *El llenguatge de la muntanya*, Devlin a *I a la pols tornaràs*, per posar tres exemples— i d'altres que estan en condicions d'inferioritat política innegable —la família torturada a *L'última copa*, els habitants de la muntanya la llengua dels quals ha estat prohibida a *El llenguatge de la muntanya*, Rebecca a *I a la pols tornaràs*. Cadascun d'aquests dos grups utilitza el llenguatge d'una manera diferenciada, i en aquest sentit sí que podem parlar de discontinuïtat respecte de la producció anterior del dramaturg. Ara són tan sols els personatges que detenen poder els qui fan un ús manipulador i opressor dels recursos que la funció pragmàtica posa al seu abast. Els altres, els oprimits i desposseïts, proven d'erigir-se, si els és donat de parlar, en portaveus de la realitat, d'allò que és el cas —tot reivindicant, doncs, la importància de la funció referencial del llenguatge. Pinter no renuncia, per tant, a continuar explorant la que va ser la preocupació fonamental de la seva primera etapa —el vincle entre llenguatge i realitat i les relacions de poder en el pla «micropolític»—, però sí al relativisme polític a què pot conduir el fet de postular, per exemple, que no és possible tenir accés a la realitat, sinó tan sols a versions mediatitzades de la realitat —un relativisme que ara, com no es cansa de repetir, li sembla totalment irresponsable.

Ara bé, tot això pot fer pensar que el teatre polític de Pinter és pamfletari i llis, un teatre de bons i dolents, una mena de discurs polític dramatitzat. Res més lluny de la realitat. Aquesta és justament la segona revolució teatral de Pinter: a partir de la dècada dels anys vuitanta, es posa a escriure un teatre polític que poc té a veure amb la forta tradició del teatre polític britànic, d'arrel socialista i caracteritzat pel debat ideològic minucios i la consciència històrica —el teatre

d'autors com ara Edward Bond o David Hare. Podríem dir que Pinter adopta la postura de denúncia característica del teatre polític, però renuncia totalment als seus mètodes perquè, com recorda de bell nou en el discurs d'acceptació del Nobel, no vol sermonejar el públic ni proporcionar-li solucions precuinades, sinó implicar-lo activament, tant en el pla intel·lectual com en l'emocional. Les peces polítiques de Pinter no es basen en un intercanvi dialèctic d'opinions, sinó que destil·len al màxim l'acció i mostren el funcionament —cruament, en directe— dels mecanismes d'abús de poder. Podem parlar, aquí també, de continuïtat amb els mètodes de l'etapa anterior: el teatre de Pinter, com ja hem vist, no s'ha caracteritzat mai per l'enfocament teòric dels temes, sinó per la presentació directa, sense coixins explicatius, de situacions i de personatges concrets. Com afirmava ell mateix el 1989, «continuo centrat a trobar imatges precises i acurades d'allò que passa».<sup>22</sup> Així, per exemple, *L'última copa* (1984) pren com a punt de partida l'estat de les presons a Turquia i l'ús de la tortura sistemàtica, però en el moment d'escriure-la l'únic que preocupava Pinter era «la imatge que tenia al cap d'un home i una víctima, un interrogador i una víctima».<sup>23</sup> L'acció no se situa en cap país concret, sinó en un despatx oficial que podria trobar-se en qualsevol lloc; no es produeix tampoc cap mena de violència física en escena; les víctimes —Victor, la seva dona Gila i el seu fill Nicky— parlen molt poc. La força de l'obra prové de la posada en escena en directe, sense filtres, de la psicologia del torturador, Nicolas, i de les seves víctimes, i de la capacitat dels actors per a crear una atmosfera palpable de terror. De fet, l'acció té lloc un cop els tres interrogats ja han estat víctimes de la tortura i dissecciona de manera magistral i terrible el sadisme del torturador, el

22. A GORDON (1989), p. 50.

23. HERN (1985), p. 14.

plaer que li proporciona observar les tres vides destrossades que té al davant. Així és com s'acomiada de Victor, que gairebé no pot parlar a causa de les tortures que ha patit a la boca:

NICOLAS: Te'n pots anar.

*Pausa.*

Pots marxar. Ens tornarem a veure, espero. Confio que seguirem sent amics per sempre. Apa, vés. Gaudeix de la vida. Fes bondat. Estima la teva dona. Ara que ho dic, es reunirà amb tu d'aquí a una setmana. Si se sent amb forces. Sí. Em sembla que tots dos hem tret profit de les nostres converses.

VICTOR, *mormola*: Què?

VICTOR, *mormola*: Què?

VICTOR: El meu fill.

NICOLAS: El teu fill? Bah, no et preocupis per ell. Era un fill de sa mare.<sup>24</sup>

*El llenguatge de la muntanya* (1988) és el resultat d'un viatge que Pinter va realitzar a Turquia el 1985 amb Arthur Miller, com a representants del PEN Internacional, per a conèixer de primera mà la situació dels kurds —però ho és només fins a cert punt. De fet, l'obra està desposseïda de tota especificitat espaciotemporal i els personatges s'identifiquen genèricament com a Dona Jove, Dona Gran, Sergent, Oficial, Guàrdia, Presoner, Home Encaputxat i Segon Guàrdia. Tracta tant de la prohibició d'una llengua, la «parla de la muntanya», com de la supressió de tot llenguatge, de tot discurs, que no sigui l'oficial, però no és «una obra teòrica. Tampoc no és una obra ideològica. En cert sentit, ni tan sols

24. La traducció és meva.



FIGURA 4. Escena de *One for the Road*. [Lyric Theatre Studio, Londres, març 1984, director Harold Pinter. Alan Bates (Nicolas) i Roger Lloyd Pack (Victor)].

és política. Simplement tracta d'una sèrie de situacions breus, punyents, brutals, que es produeixen a dins i al voltant d'una presó»,<sup>25</sup> com ara:

OFICIAL: És un decret militar. És la llei. La vostra llengua està prohibida. Està morta. Ningú no té permís per a parlar la vostra llengua. La vostra llengua ja no existeix. Alguna pregunta?

DONA JOVE: Jo no parlo la llengua de la muntanya.

*Silenci. L'Oficial i el Sergent caminen en cercles, lentament, al voltant de la Dona Jove. El Sergent li posa la mà al cul.*

SERGEANT: Quina llengua parles? Quina llengua parles amb el cul?

25. Paraules de Pinter recollides a Anna FORD (1988), «Enter Stage Left: Harold Pinter's Radical Departures», *Listener*, núm. 27 (octubre), p. 4-6. La traducció és meva.



FIGURA 5. Escena de *Mountain Language*. [National Theatre, Londres, octubre 1988, director Harold Pinter. Michael Gambon (Sergent) i Miranda Richardson (Dona Jove)].

OFICIAL: Aquestes dones, Sergent, no han comès cap crim. Recordi-ho.

SERGENT: Però senyor! No deu voler dir que estan lliures de pecat?

OFICIAL: No, no, de cap manera.

SERGENT: Aquesta en va plena. Palpablement plena.<sup>26</sup>

Finalment, *I a la pols tornaràs* (1996), àmpliament reconeguda com una de les obres mestres de Pinter, s'inscriu en la mateixa línia. La peça, que evoca el genocidi jueu com a arquetip de tants d'altres, s'estructura com un *crescendo* en què fragments de diàleg aparentment banals s'intercalen amb moments de gran tensió emocional entre els dos personatges, Devlin i Rebecca —impecablement interpretats per Stephen Rea i Lindsay Duncan respectivament en la posada en escena inaugural del Royal Court Theatre, dirigida pel

26. La traducció és meva.





FIGURA 6. Escena d'*Ashes to Ashes*. [Royal Court Theatre, Londres, setembre 1996, director Harold Pinter. Lindsay Duncan (Rebecca) i Stephen Rea (Devlin)].

mateix Pinter, que vam tenir el privilegi de poder veure a Barcelona durant la «Tardor Pinter»—, fins que la magnitud del sofriment personal causat per motius polítics es fa palesa en la revelació final de la dona, que ressona com si hagués d'ésser recordada per sempre. *I a la pols tornaràs* i les altres peces obertament polítiques no reneguen de la noció postmodernista que la recerca de veritats absolutes pot conduir a polítiques repressores —de fet, el dogmatisme de Devlin, per a qui un món sense Déu és «Un món sense guanyadors», i la seva obsessió amb «fets» i la «veritat» són clarament la base de la seva brutalitat física i psicològica. Ara bé, l'obra també es pregunta cap a on ens porta el relativisme absolut —paradoxa de les paradoxes— de la cultura postmoderna, i reclama, sobretot a través de Rebecca, el vincle referencial entre

llenguatge i realitat —un motiu que ja s'insinuava a *El llenguatge de la muntanya* i a *Temps de festa* (1991).<sup>27</sup> Així doncs, de la visió amarga de les relacions interpersonals com una pugna constant per aconseguir posicions a la reivindicació del lligam entre llenguatge i realitat, del postmodernisme a una crítica posthumanista del postmodernisme: la concessió del Nobel de Literatura a Harold Pinter significa el reconeixement a un autor que al llarg de la seva carrera ha renovat el llenguatge teatral per partida doble i s'ha entestat a reivindicar el dret a la dissidència. La línia més important que hagi escrit mai, segons afirma ell mateix, es troba a *La festa d'aniversari* (1958): «Stan, no permetis que et diguin el que has de fer».

#### BIBLIOGRAFIA

##### Obres citades

136

ARAGAY, Mireia (1992). *El llenguatge en la producció teatral de Harold Pinter*. Barcelona: PPU.

ARAGAY, Mireia; MOLINA, Víctor; ZOZAYA, Pilar [coord.] (1996). «Dossier Pinter». *Quimera*, núm. 152 (novembre), p. 19-43.

ARAGAY, Mireia; ZOZAYA, Pilar (2007). *British Theatre of the 1990s: Interviews with Directors, Playwrights, Critics and Academics*. Londres; Nova York: Palgrave.

BENSKY, Lawrence (1966). «Harold Pinter: An Interview». *The Paris Review*, núm. 39, p. 13-37.

CONNOR, Steven (1989). *Postmodernist Culture: An Introduction to Theories of the Contemporary*. Oxford: Blackwell.

27. Per a una anàlisi més detallada de *I a la pols tornaràs*, vegeu Mireia ARAGAY, «Pinter, Politics and Postmodernism», a RABY (2001), p. 246-259.

- GALE, Steven H. [ed.] (1986). *Harold Pinter. Critical Approaches*. Rutherford: Farleigh Dickinson University Press, p. 128-138.
- (2001). *The Films of Harold Pinter*. Albany: State University of New York Press.
- GANZ, Arthur [ed.] (1972). *Pinter: A Collection of Critical Essays*. Englewood Cliffs; Nova Jersey: Prentice Hall.
- GORDON, Lois (1989). «Harold Pinter in New York». *The Pinter Review: Annual Essays, 1989*, p. 50.
- HERN, Nicholas (1985). «A Play and its Politics». A: PINTER, Harold (1985). *One for the Road*. Londres: Methuen, p. 7-23.
- JAUSS, Hans Robert (1982). *Toward an Aesthetic of Reception*. Brighton: Harvester.
- PINTER, Harold (1976). *Plays One*. Londres: Methuen.
- (1985). *One for the Road*. Londres: Methuen.
- (1998). *Various Voices: Prose, Poetry, Politics 1948-1998*. Londres: Faber and Faber.
- RABY, Peter [ed.] (2001). *The Cambridge Companion to Harold Pinter*. Cambridge: Cambridge University Press.
- TRUSSLER, Simon [ed.] (1981). *New Theatre Voices of the Seventies: Sixteen Interviews from Theatre Quarterly 1970-1980*. Londres: Methuen.

137

#### Obres adicionales

- BATTY, Mark (2005). *About Pinter: The Playwright and the Work*. Londres: Faber and Faber.
- BILLINGTON, Michael (1996). *The Life and Work of Harold Pinter*. Londres: Faber and Faber.
- GUSSOW, Mel (1994). *Conversations with Pinter*. Nova York: Limelight Editions.
- KNOWLES, Ronald (1995). *Understanding Harold Pinter*. Columbia: University of South Carolina Press.

- MERRITT, Susan H. (1990). *Pinter in Play: Critical Strategies and the Plays of Harold Pinter*. Durham: Duke University Press.
- PINTER, Harold (1983). *Terra de ningú*. Traducció de Miquel Berga i Salvador Sunyer. Salt: Edicions del Pèl.
- (1986). *Qui a casa torna*. Traducció de Joaquim Mallafrè. Barcelona: Edicions del Mall: Institut del Teatre de la Diputació de Barcelona.
- (2001). *Engany*. Traducció de Miquel Berga. Tarragona: Arola.
- (2003). *Polvo eres. Luz de luna. Tiempo de fiesta. El lenguaje de la montaña*. Traducció de Carlos Fuentes. Hondarribia, Guipúscoa: Argitaletxe Hiru.
- (2004). *El cuidador. Los enanos. La colección*. Traducció de Laura Thieberger i Lorenzo Quinteros. Madrid; Buenos Aires: Losada.
- (2005a). *El amante. Escuela nocturna. Sketches de revista*. Traducció de Rafael Spregelburd. Madrid; Buenos Aires: Losada.
- (2005b). *La fiesta de cumpleaños. La habitación. Un leve dolor. El blanco y negro. El examen. El montacargas. El invernadero. Una noche afuera*. Madrid; Buenos Aires: Losada.
- (2005c). *Essencial (L'habitació, El muntaplats, L'amant, Veus familiars, Una mena d'Alaska, Estació de França, L'última copa)*. Traducció de Manuel de Pedrolo, Jordi Malé i Pegueroles, Víctor Batallé i Josep M. Balanyà. Barcelona: Edicions 62.
- SILVERSTEIN, Marc (1993). *Harold Pinter and the Language of Cultural Power*. Lewisburg: Bucknell University Press.
- SMITH, Ian [ed.] (2005). *Pinter in the Theatre*. Londres: Nick Hern Books.

WEBS

*[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/literature/  
laureates/2005/pinter-lecture.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/literature/laureates/2005/pinter-lecture.html)*

*<http://www.haroldpinter.org/home/index.shtml#>*

*<http://www.haroldpinter.org/pinterreview/index.shtml>*



**ELS PREMIS NOBEL  
DE L'ANY 2005  
SOBRE EL  
PREMI NOBEL D'ECONOMIA  
CONCEDIT A  
ROBERT J. AUMANN  
I THOMAS C. SCHELLING,  
PER ANDREU MAS-COLELL,  
CATEDRÀTIC D'ECONOMIA  
DE LA UNIVERSITAT POMPEU FABRA  
I MEMBRE DE LA SECCIÓ DE FILOSOFIA  
I CIÈNCIES SOCIALS  
DE L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS**

## COOPERAR PER INTERÈS PROPI<sup>1</sup>

### RESUM

La concessió del Premi Nobel d'Economia 2005 a Robert J. Aumann i Thomas C. Schelling confirma la influència de la teoria de jocs i l'interès social que desperta. L'any 1994, John C. Harsanyi, John F. Nash Jr. i Reinhard Selten compartiren el premi «per la seva anàlisi pionera de l'equilibri en la teoria de jocs no cooperatius». Aumann i Schelling, guardonats «per haver ampliat la nostra comprensió del conflicte i la cooperació mitjançant l'anàlisi de la teoria de jocs», són dos teòrics que han estudiat les motivacions i conseqüències del paradigma de la racionalitat en l'acció humana. Aquest treball és una breu revisió dels fonaments teòrics de l'estratègia del conflicte i de l'equilibri de la por, elements que han estat presents en situacions com ara la guerra freda i que són a la base de decisions d'alta política mundial. S'analitzen aquestes i altres aportacions dels dos guardonats, les variants del dilema del presoner i la seva aplicació en estratègies tant de política defensiva-ofensiva com d'inversió econòmica, i els raonaments en la presa de decisions d'abast particular.

PARAULES CLAU: teoria de jocs, dilema del presoner, cooperació, estratègia del conflicte, jocs repetitius.

### ABSTRACT

The Nobel Prize in Economics 2005 to Robert J. Aumann and Thomas C. Schelling is a recognition of the influence of

1. Text preparat per Carmen Chica (*carmen.chica@fcri.es*) a partir de la gravació de la conferència pronunciada per l'autor, i revisat per Josep M. Camarasa (*jcamarasa@iec.cat*) i per l'autor.



the theory of games and the social interest it arises. In 1994, John C. Harsanyi, John F. Nash Jr. and Reinhard Selten shared the award for “their pioneering analysis of the equilibria in the theory of non-cooperative games”. Aumann and Schelling, who have been awarded “for having enhanced our understanding of conflict and cooperation through game-theory analysis”, are two theoreticians who have studied the motivations and consequences of the paradigm of rationality in the human action. This work is a brief review of the theoretical foundations of the conflict and the balance of fear, elements that have been present in situations such as cold war and are in the basis of decisions of high world-wide politics. These and other contributions of both prizewinners are analyzed, as well as the variants of the prisoner’s dilemma and their application in strategies including defensive-offensive politics, economy investment, and the reasoning in the decision making of particular scope.

143

**KEYWORDS:** games theory, prisoner’s dilemma, cooperation, conflict strategy, repeated games.

En la concessió del Premi Nobel d’Economia de l’any 2005 a Robert J. Aumann i Thomas C. Schelling (figura 1), el Comitè Nobel ha destacat el paper de la teoria de jocs en l’anàlisi del conflicte i la cooperació. Aquesta teoria s’ocupa de situacions interactives en què el millor camí a seguir per a cada participant depèn del que s’espera que facin els contrincants. Per tant, la pròpia actuació es planeja segons el que pensem que l’altre jugador creu que nosaltres farem en resposta als seus moviments.

Tant Schelling com Aumann són teòrics i tots dos són profundament racionalistes. L’un i l’altre han anat al límit en la cerca de les conseqüències del paradigma de la racionalitat en l’acció dels homes i les dones. Comparteixen una altra característica: la d’èsser analíticament molt elegants, amb

una gran finor en els seus estudis i elaboracions. Fora d'això, són molt diferents i, de fet, ells mai no han treballat ni publicat junts. El mateix Schelling, comparant-se amb Aumann després de la concessió del Premi Nobel, ha fet ressaltar el contrast tot dient que Aumann crea la teoria de jocs mentre que ell la utilitza. També l'estil d'anàlisi és diferent. El de Schelling és literari; no és un autor que faci elaboracions matemàtiques més enllà d'una fórmula ocasional. Destaca molt l'elegància de la frase, escriu molt bé i també cerca l'exemple punyent per a il·lustrar cada fenomen. En canvi, Aumann és un mestre en la utilització de les matemàtiques, també clara i elegant.



FIGURA 1. Fotografia dels premiats. D'esquerra a dreta, Thomas C. Schelling i Robert J. Aumann. Copyright © Nobel Web AB 2005. Fotografia: Hans Mehlin.

A la teoria dels jocs el tema de la cooperació s'ha de considerar des de la perspectiva del comportament no cooperatiu. El comportament no cooperatiu és el natural, el concepte primitiu de la teoria; sento dir-ho, però és així. Malgrat tot, quan els actors miren pel seu propi interès, és possible

arribar a solucions cooperatives que siguin bones per a tot-hom. És fàcil reconèixer en això un component antic i profund del pensament econòmic: la idea d'Adam Smith que la recerca individual de la pròpia satisfacció en els mercats condueix a una situació col·lectiva immillorable per a tots els actors. En situacions diferents, la cooperació s'ha d'articular de diferents maneres, i això és el que fan els dos guardonats. Aquest és, doncs, el tema general comú: cooperar des de la no cooperació. Dit això, els consideraré separatament.

THOMAS C. SCHELLING

Schelling és professor d'economia (emèrit) a les universitats Harvard i de Maryland. Va néixer el 1921 a Oakland, Califòrnia (EUA), i va estudiar a la Universitat de Califòrnia a Berkeley i a la Universitat Harvard, on es va doctorar en economia l'any 1951. Els seus interessos són molt variats i ha publicat nombrosos articles de qüestions tan diverses com estratègia militar i control d'armaments, política ambiental i energètica, canvi climàtic, proliferació nuclear, terrorisme i crim organitzat, teoria del conflicte i del regateig, i segregació i integració racial.

També és autor de dos llibres que ja són clàssics: *The Strategy of Conflict* (1959) i *Micromotives and Macrobehavior* (1978). Va ser un dels creadors de la Kennedy School of Government de la Universitat Harvard. No sé si mai hi ha ocupat càrrecs, però fou clarament el mentor del grup fundador de l'Escola i sempre ha estat molt orgullós d'aquesta institució. La seva gran passió intel·lectual ha estat la guerra i la pau (amb permís de Tolstoi). El seu llibre *The Strategy of Conflict* se situa en la gran tradició de pensament sobre conflicte i estratègia, que inclou des dels clàssics xinesos fins a Maquiavel. Schelling, i també d'altres, van proveir els fona-

ments intel·lectuals de la política de *deterrence* (dissuasió) durant la guerra freda, és a dir, de la política que seguiren els Estats Units en l'enfrontament fred amb la Unió Soviètica.

#### ESTRATÈGIES PER LA PAU: EQUILIBRI DE LA POR I AMENACES CREÏBLES

Esquematzant molt, podríem dir que en el centre dels plantejaments de Schelling hi ha la consideració de la pau com a objectiu desitjable i de les estratègies que poden ajudar a mantenir-la. Schelling constata que el manteniment de la pau entre dos enemics depèn essencialment de l'establiment d'un «equilibri de la por» sostingut sobre «amenaces creïbles».

Què vol dir «amenaces creïbles» en el context de les aportacions de Schelling? Una primera observació és que les polítiques de defensa per a l'articulació de la pau han d'implicar la formulació d'amenaces dissuasives i que aquestes estratègies de dissuasió no són precisament de desarmament, sinó més aviat al contrari. Però això no és suficient, les amenaces han de ser creïbles tant pel que poden fer (molt mal) com pel que prometen no fer (no atacar el primer). Per això, Schelling conclou que cal mantenir (de fet, aquest ha de ser el cas per als dos contrincants) l'opció d'una represàlia devastadora després de ser atacat (*second strike capability*). És a dir, si es vol resoldre el conflicte mitjançant la guerra, llavors cal armar-se i atacar al més ràpidament possible; però si es vol evitar la guerra, llavors es tracta de prometre no atacar primer i de disposar de material ofensiu enormement protegit, de tal manera que no pugui ser destruït en el cas d'un atac de l'adversari. L'adversari ha de saber que, si ataca, l'agredit disposarà de moltes forces per a un contraatac devastador. És això el que fa que l'amenaça de contraatac sigui creïble i, per tant, que la promesa de no atacar sigui creïble en si mateixa. L'ad-

versari ha de conèixer que els objectius de la resposta de l'agredit amb tota probabilitat no seran les tropes de la potència agressora, sinó les seves poblacions i infraestructures. L'agressor ha de saber que el preu del seu atac serà un contraatac devastador sobre els objectius més vulnerables, més delicats i més dolorosos. Es tracta de l'equilibri de la por, basat en amenaces de represàlia autoprotectors viables.

Insistim que perquè l'equilibri de la por, generador de pau, sigui real, l'amenaça de represàlia ha de ser creïble. No hi ha d'haver situacions en què l'adversari pugui pensar «ataco, però no del tot, a mitges, debilito molt, em debilita molt a mi, i llavors li ofereixo un tracte en el qual vegi que si exerceix la seva amenaça de represàlia en segona ronda, això serà pitjor per a ell, perquè a mi encara em queden possibilitats de represàlia en una tercera ronda, etc.» Per a evitar un possible primer cop cal ser molt rígid sobre el caràcter devastador de la represàlia. No hi ha d'haver oportunitat de tercera ronda. Tot això porta Schelling a observacions que apareixen per primera vegada d'una manera formal (però encara no matemàtica) en el pensament estratègic. Una és la idea de compromís irrevocable (*commitment*). És a dir, qualsevol mecanisme que faci possible el compromís de prendre la represàlia si s'és atacat, millora la credibilitat i, per tant, fa que l'atac sigui menys probable. Com es pot aconseguir un compromís irrevocable? Una manera és la delegació, l'automatisme. Recordem l'època en què hi havia permanentment avions volant amb bombes atòmiques, i també submarins, que tenien un cert automatisme d'actuació. Una altra observació és la paradoxa de la possible racionalitat de la irracionalitat. Vegem-ne un exemple. Si jo, que estic en perill d'atac, puc convèncer el meu adversari que sóc totalment irracional, que encara que m'ataqui a mitges i que contraatacar vagi contra els meus interessos ho faré perquè estic desequilibrat, llavors evidentment disminueix la probabilitat de ser atacat.

Convé advertir que la idea de l'automatisme és massa simple. En realitat, al final no hi haurà cap país que estigui dispost a introduir la irrevocabilitat dels compromisos d'una manera tan absoluta. La raó és que hi poden haver errors (d'una banda i de l'altra) en la cadena de decisions i en la seva transmissió. Els contrincants s'han de reservar una possibilitat d'última hora d'activar o desactivar el contraatac. A la fi, el compromís irrevocable acaba sent un compromís en què hi ha probabilitats i soroll, i les coses no podran ser mai totalment clares. Schelling parla de «negociació ran de l'abisme» (*brinkmanship*), que comporta el risc que es tiri endavant o es pari l'atac o el contraatac a l'últim segon. La idea de negociació «ran de l'abisme» és una bona paràbola per a moltes de les negociacions que van tenir lloc en el període de la guerra freda.

En definitiva, les idees de Schelling sobre l'estratègia del conflicte són versions modernes del pensament clàssic que diu que qui vulgui la pau cal que prepari la guerra. També, l'equilibri de la por no és altra cosa que una versió contemporània de l'intercanvi d'hostatges de l'edat mitjana. Les ciutats dels contrincants són ara els hostatges. Tot això, admetem-ho, angunieja, sona terrible i despietat, però no podem oblidar que la guerra freda va ser una guerra que va acabar amb un guanyador i un perdedor, però que no va esdevenir calenta. Schelling i d'altres bastiren els fonaments teòrics d'un pensament estratègic i d'unes idees que varen contribuir a evitar que el conflicte es «resolgués» mitjançant una guerra nuclear.

#### CLAUS PER A L'ACORD TÀCIT SENSE COMUNICACIÓ

Hi ha d'altres contribucions de Schelling que convé esmentar per no deixar la impressió que només l'ha preocupat el tema

de la guerra i la pau. Una es refereix a la manera d'arribar a un acord tàcit sense comunicació entre els interlocutors. Suposem que dues persones ens hem de trobar en un lloc de Barcelona demà a les dotze, però hem oblidat el lloc de trobada. Què farem? Jo pensaré en el que pensarà l'altre que pugui pensar jo, etc., però, en definitiva, el problema tindrà una bona solució (hi ha una probabilitat alta que ens trobem) si, i només si, hi ha un punt focal (*focal point* és una expressió de Schelling) que ens serveixi per a coordinar les nostres expectatives mútues sobre què farà l'altre. Quan faig aquest experiment en la meva docència, normalment els qui són de Barcelona diuen que se n'aniran al bar Zurich, i els qui són de fora diuen que aniran a la Sagrada Família. Als barcelonins no se'ls acut de trobar-se a la Sagrada Família. A Nova York, els que són d'allà es troben a Pennsylvania Station i els que són estrangers se'n van dalt de l'Empire State Building. Si un és nord-americà i l'altre és estranger, i el nord-americà sap que l'altre és estranger, també se'n va dalt de l'Empire State Building. I una altra pregunta és: i què passa si no saben a quina hora s'han de trobar? Doncs la gent en general respon que a les dotze del migdia.

149

#### CONSEQÜÈNCIES GLOBALES D'ACTUACIONS PARTICULARS

Una altra contribució de Schelling, inclosa en el llibre *Micro-motives and Macrobehavior* (la tesi del qual és que motius petits poden acabar determinant les estructures globals), es refereix al fenomen del *tipping* en la composició racial dels barris americans. Schelling demostrà amb unes simulacions (que són versions primerenques —parlem de la dècada de 1970— del que ara es fa amb jocs d'ordinador, o fins i tot amb el mòbil) com petites diferències inicials en la composició ètnica d'un barri poden conduir a una situació d'efectiva

segregació racial. Es pot partir de l'exemple d'un barri en el qual el col·lectiu format per individus blancs està disposat a acceptar, i fins i tot li pot agradar, que al barri on viu hi hagi fins a un vint per cent de població negra, però no més. Acceptar vol dir que, si no és així, se n'aniran. En canvi, els ciutadans negres potser prefereixen viure en barris més barrejats. Es pot començar amb una situació d'una ciutat totalment barrejada ètnicament (per exemple, amb un vint per cent de població negra a cada barri) i per l'acció de petits canvis individuals, primer lentament i després de manera més accelerada, acabar amb una situació en què els barris estiguin completament segregats, i siguin cent per cent blancs o cent per cent negres, la qual cosa no és una situació ideal per a cap dels dos col·lectius. O sigui, que una sèrie d'accions individuals acaben determinant un resultat que no és gaire desitjable. La conclusió és molt poc «smithiana», molt allunyada dels postulats d'Adam Smith; els economistes dirien que són situacions amb «externalitats». En tot cas, la repercussió d'aquesta anàlisi de Schelling ha estat molt important.

#### ROBERT J. AUMANN

Aumann va néixer a Frankfurt l'any 1930 i el 1938 va emigrar amb la seva família, que era jueva, als Estats Units. Estudià matemàtiques i féu el doctorat al MIT (Massachusetts Institute of Technology) amb un treball sobre teoria de nusos, una branca de les matemàtiques molt abstracta i molt difícil. Començà la seva carrera acadèmica a Princeton, on, curiosament, no hi va fer teoria de jocs, tot i que va coincidir amb Johannes von Neumann i els seus col·laboradors en l'època de plena activitat en relació amb aquesta teoria. No comença a fer teoria de jocs fins que emigra a Israel, el 1956, i s'instal·la al Departament de Matemàtiques de la Universi-



tat Hebrea de Jerusalem, on crea una escola de molt impacte. La seva obra, en conjunt, és molt elaborada i profunda. El nombre total d'estudiants doctorals que ha tingut és tretze. No en són gaires, però la llista de noms és impressionant. Ha estat l'impulsor i l'ànima intel·lectual del Centre de Racionalitat i Teoria de la Decisió Interactiva de la Universitat Hebrea de Jerusalem, que és avui un dels centres mundials més actius, no solament en teoria de jocs, sinó també en les formes pròpies de la interacció de racionalitats en les ciències de la computació, psicologia, biologia, etc. Aquest centre, de caire interdisciplinari, va ser creat l'any 1991 i molts dels seus membres estan considerats autoritats mundials en els seus camps respectius. La *teoria de la decisió interactiva* és l'altre nom de la teoria de jocs, que, com ja us he indicat abans, tracta d'aquelles situacions en què individus amb objectius diferents interaccionen, cadascun d'ells tractant de prendre les decisions que li convenen més. En fer-ho, però, han de tenir present que l'altre, o els altres, actuen de la mateixa manera. Aquestes idees són a la base de moltes construccions teòriques en l'economia i s'han aplicat també en altres camps com ara la ciència política, la psicologia, la biologia evolutiva, el dret i l'estadística. És interessant constatar que Israel, un país petit, és un punt de referència internacional en tot el que es refereix a pensar sobre el pensament, i Aumann ha estat un element decisiu en això. Aumann és un home molt religiós (cosa que difícilment podreu esbrinar a partir de la seva obra escrita). Una petita satisfacció que vaig tenir una vegada fou assabentar-lo que Rashba (Abraham ibn Adret, 1235-1310), considerat un dels més grans comentaristes del Talmud i el nom del carrer on Aumann viu a Jerusalem, era català i va ser gran rabí de Barcelona.

La relació dels temes en els quals Aumann ha treballat és extensa i abasta molts àmbits: jocs repetits, competència perfecta, equilibri de correlació, epistemologia interactiva, jocs cooperatius, fonaments de tot tipus, etc. De totes aquestes contribucions, el Comitè Nobel ha assenyalat els jocs repetits, que és del que jo parlaré. Cadascuna de les altres contribucions són igualment notables i potser mereixedores també del guardó. L'any 1994, el Premi es va concedir a John F. Nash Jr., pel concepte d'equilibri que porta el seu nom; a Reinhard Selten, per una extensió del concepte que lliga amb la idea de credibilitat, i a John C. Harsanyi, per una altra extensió, molt important, a les situacions d'informació imperfecta. Aquest Premi ara revela que el Comitè Nobel manté la mateixa orientació en posar l'èmfasi en les extensions de l'equilibri no cooperatiu cap a àrees noves i, en particular, en les situacions repetides, però amb un angle interessant que potser apunta cap al proper premi (certament, no abans de deu anys) centrat en teoria de jocs: la no-cooperació com a fonament de la cooperació.

#### DILEMA DEL PRESONER

Us exposaré ara una versió del conegut dilema del presoner una mica diferent de la tradicional. Ha estat proposada per Sergiu Hart, un deixeble d'Aumann amb qui col·laboro. Es tracta d'una situació en la qual hi ha dos jugadors amb dues estratègies possibles que qualificariem d'altruista i egoista, respectivament. Jo sóc un dels jugadors, i a l'altre li direm Miquel. Per començar, tots dos tenim un mecanisme que produeix peres (amb més rigor, d'això en diríem «utilitat»), i, repeteixo, tenim dues estratègies: l'egoista, consistent a atorgar-nos cada un a nosaltres mateixos una pera, i l'altruís-

ta, donar-ne quatre a l'altre. Si jo sóc altruista, li'n dono quatre a en Miquel i jo, o no en rebo cap (si en Miquel és egoista), o en rebo quatre (si en Miquel és altruista). Però si sóc egoista, em quedo una pera i en Miquel es queda sense. En termes de la producció global de peres, és poc productiu ser egoista, però, a mi de què em serveix donar quatre peres a en Miquel? En Miquel i jo hem de fer un moviment simultani i, per tant, podem ser ambdós altruistes, o podem ser ambdós egoistes; o un egoista i l'altre altruista. Veiem què passa en cada cas. Si els dos som altruistes, jo proporciono quatre peres a en Miquel i ell fa el mateix per a mi; per tant, acabem amb quatre peres cadascun de nosaltres. Si jo sóc altruista i en Miquel és egoista, jo li proporciono quatre peres i ell n'hi afegeix una més per a ell; jo em quedo sense res, perquè ell no em dóna res a mi. Per tant, jo em quedo amb zero peres i ell es queda amb cinc peres. El mateix passa si jo sóc egoista i ell és altruista; en aquest cas, ell em proporciona quatre peres i jo me'n dono una, és a dir, jo en tinc cinc i ell en té zero. Si els dos som egoistes, jo em quedo amb una pera i ell es queda amb una pera. Veurem ara com aquest és un exemple molt simple per a il·lustrar el paradigma anti-Adam Smith. Aquí, el comportament que ens interessa a tots dos serà un comportament que portarà al resultat dolent. I la raó és clara. Faci el que faci en Miquel (és a dir, tant si es comporta egoistament com altruistament), el comportament egoista és el millor, des del meu punt de vista. L'estratègia egoista és el que s'anomena una *estratègia dominant* per part meva. I, evidentment, també ho és per part d'en Miquel. Jo contemplo aquesta situació, sé que en Miquel l'està estudiant de la mateixa manera i amb la mateixa perspectiva, la de l'interès individual de cadascun de nosaltres. No hi ha més, em decideixo per l'estratègia egoista. I així ho fa també en Miquel. I els dos acabem amb una pera, quan els dos haguéssim pogut acabar amb quatre si haguéssim estat generosos l'un amb l'altre.

En el context d'aquest exemple, si cooperéssim podríem arribar a disposar de quatre peres cadascú. En canvi, si no cooperem, ens quedem amb una de sola. El problema teòric és, doncs, prou punyent: com podem fer-ho per a induir a la cooperació tot mantenint-nos dins d'un paradigma teòric de no-cooperació?

#### LA REPETICIÓ COM A FACTOR MODIFICADOR

Una possibilitat és tenir en compte la repetició. En la realitat, en la vida, les situacions no passen una vegada i prou, sinó que es van repetint. A més, generalment, hi ha vincles dinàmics en el comportament. Si ens portem malament avui, poden passar coses dolentes demà, pot haver-hi amenaces i represàlies, i pot ser llavors que les expectatives d'unes conseqüències indesitjables induïxin a un bon comportament avui. Per tant, la primera idea a explorar és veure si, tenint en compte que les situacions es poden repetir, que tenen un demà, són possibles equilibris de l'estil de l'equilibri de la por.

154

Per començar, prenem el dilema del presoner i imaginem-nos que ara el repetim dues vegades, és a dir, el fem avui i el fem demà, i que el que obtenim és la suma del que obtenim avui i del que obtenim demà. Intentem aplicar les idees informals que us acabo de descriure. Per exemple, ens podríem posar d'acord en el fet que en el primer període hem de cooperar; en el segon, ja ho veurem, però, com a mínim, en el primer període cooperem. També ens posem d'acord que si no ho fem en el segon període passarà alguna cosa dolenta. Funciona això? A primera vista sí, perquè l'amenaça que demà les coses no vagin bé si avui no es coopera podria induir a la cooperació. Però, de fet, no funciona. I la raó és que les coses demà no aniran bé, tant si avui es coopera com si no. En Miquel i jo ens preguntem què passarà demà, i aca-

bem fent el mateix raonament que hem exposat més amunt. Demà és el final i, per tant, el que passarà és que tots dos jugarem l'estratègia egoista: ell acabarà amb una pera i jo acabaré amb una pera, fem el que fem avui. Davant d'això, avui el demà és irrellevant. Us acabo de demostrar que el que passarà demà no depèn del que passi avui. Per tant, que avui hi hagi un demà no importa. El mateix raonament fet avui ens dirà que avui ell acabarà amb una pera i jo acabaré amb una pera; no hi ha penalització per comportar-se de manera egoista avui. Si jo avui li proporciono quatre peres a en Miquel, demà ell acabarà amb una pera i jo amb una altra, malgrat que m'hagi portat molt bé avui: per tant, jo no tinc cap incentiu per a portar-me bé avui. Tampoc no li puc prometre a en Miquel que si ell és altruista avui jo ho seré demà. No em creurà, i jo sé que no em creurà. A la fi serem els dos egoistes en els dos períodes (i, pel mateix raonament, a qualsevol nombre finit de repeticions). Hem de concloure, per tant, que per al dilema del presoner la repetició (un nombre finit de vegades) no ajuda a induir al comportament altruista en cap període.

155

#### UN EXEMPLE MÉS POSITIU

Ara us exposaré un altre exemple que indica que pot haver-hi situacions en què la repetició sí que ajuda, fins a cert punt, i que, per tant, tot no està perdut. Aquest tema és subtil i requereix una anàlisi una mica més formal. Considerem una matriu, dita *de pagaments*. Tenim dos jugadors, cadascun amb tres estratègies A, B i C. Els dos nombres a cada casella indiquen els pagaments en el primer i el segon jugador quan el primer juga la fila i el segon la columna (figura 2).

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>A</i>	4, 4	1, 3	-1, 5
<i>B</i>	3, 1	2, 2	1,5, 1
<i>C</i>	5, -1	1, 1,5	0, 0

FIGURA 2. Matriu de pagaments.

Procediré a analitzar aquesta matriu i veurem que, en principi, la cooperació podria ser bona, i demostraré llavors que, si hi ha repetició (dues vegades), la cooperació és induïble en el primer període. Suposem primer que només es juga una vegada. Veiem llavors que només hi ha una situació estable, el que tècnicament se'n diu un *equilibri de Nash*, que és B-B. Si tots dos juguen A-A i, per tant, el primer jugador espera que el segon jugui A. Llavors a ell li surt a compte jugar C, perquè obté 5 punts, no 4. Si el segon jugador juga A, el primer jugador no jugarà ni A ni B, per tant, les jugades A-A o B-A no poden ser estables. Bé, provem C-A: ara què passarà? S'obté 5 i -1 punts, i el primer jugador està satisfet, però què passa amb el segon? Si el segon jugador espera que el primer jugui C, ell jugarà B, perquè amb A acaba traient -1 punt, i si juga B treu 1,5 punts. O sigui que tampoc no serà estable que el primer jugador jugui C, i el segon jugui A o jugui C. Amb això tenim fora tota la primera columna. I així podem anar comprovant totes les caselles diferents de B-B. A B-B clarament ambdós estan satisfets: si esperen que l'altre jugui B, el millor per a cadascun és jugar B.

Ara bé, B-B no és el millor que podria passar; el millor seria que tots dos juguessin A, perquè en aquest cas tots dos s'endurien 4 punts. Però no ho fan, perquè els jugadors reconeixen que intentar jugar A no és estable, com passa amb el dilema del presoner. I acaben jugant B, un resultat dolent. I si considerem la situació repetida? Seria també com amb el dilema del presoner?

Doncs no. Ara us intentaré argumentar que aquí la repetició sí que ajuda. Suposem que repetim l'experiència dues vegades: avui i demà. Portar-se bé vol dir que en Miquel i jo juguem A avui. Tant en Miquel com jo formulem amenaces sobre la nostra conducta de demà, condicionada pel comportament d'avui. L'amenaça és «si ens hem comportat bé avui, demà jugaré B. Si no ens hem comportat bé avui, demà jugaré una estratègia de càstig, és a dir, C». Noteu que si aquestes amenaces van acompanyades d'una promesa de portar-se bé avui, llavors complir la promesa és el millor que es pot fer (jo no puc arribar a més de 5 si em desvio de A avui, mentre que jugant A avui i B demà aconseguiré, atesa l'amenaça d'en Miquel i la seva promesa, un total de 6 punts). És a dir, el resultat final és A-A avui i B-B demà. El càstig, C-C, mai s'executa. L'existència del segon període ha permès establir (a diferència del cas del dilema del presoner) el comportament cooperatiu avui. Tenim una situació genuïna d'equilibri amb amenaces. Noteu que no podem esperar més. En particular, A-A demà no és realitzable per la mateixa raó que no ho era quan només hi havia un període: el que realment es juga en el darrer període ha de ser estable (és a dir, un equilibri de Nash del joc no repetit).

157

#### UNA DIFICULTAT AMB LA CREDIBILITAT DE LES AMENACES

Però fins i tot en aquest exemple, millor que el problema del presoner repetit, hi trobarem una dificultat, i així retrobarem alguns dels temes exposats abans en relació amb Schelling. Argumentaré que les amenaces incorporades a les estratègies que us he descrit no són creïbles. Per què? Permeteu-me exposar una petita història, que no és gaire precisa, ni gaire rigorosa, però que servirà. Ara jo sóc el jugador 1 i penso que l'altre jugador jugarà A, perquè és el que ha de jugar d'acord

amb les estratègies que, explícitament o tàcitament, hem acordat (i que, com hem vist, són d'equilibri). Si jo jugo A tindrà 4 punts, però sóc ambiciós i m'agradaria obtenir-ne més. I si em desviés, i jugués C, per obtenir 5 punts en el primer període? Això hauria de portar a C-C en el segon període i, per tant, a un resultat que, tot plegat, faria que la desviació no sortís a compte. Per què? Per una banda, puc pensar que si l'altre jugador observa que jo m'he desviat, que he trencat les cartes, llavors ell ha d'esperar que jo demà jugui C, que és allò implícitament acordat. I si ell espera que jo jugui C demà, a ell no li convé jugar C; en canvi, li surt a compte jugar B, perquè obté 1,5 punts en comptes de 0. Per tant, em dic, «ell no tirarà endavant aquesta amenaça, perquè una vegada situats a demà intuirà que jo faré C i, per tant, jugarà B per cobrir-se, i obtindrà 5 punts en total, i jo obtindré 1,5 punts demà, que sumats als 5 avui fan 6,5, més que els 6 que podria obtenir fent bondat». O potser pensaré d'una altra manera (i això indica que no és ben bé rigorós el que estic fent) i em diré: «no, no, aquest contrincant no pensa tant, li estic atribuint massa clarividència. Demà jugarà C, que és el que li toca jugar si jo em desvio avui. Per tant, com que ell jugarà C demà jo jugaré B, no C, i obtindré 1,5 punts en comptes de 0». Amb el primer argument us he suggerit que l'amenaça de l'altre no es creïble. Amb aquest, que la meva amenaça tampoc no ho és. Amb l'argument d'abans he dit que la C no és creïble, ara us estic dient que la meva amenaça tampoc no ho és. I que, per tant, hem de tenir poca confiança que la cooperació es pugui sostenir en el primer període. Quin és el problema? El problema, dins la conceptualització de la teoria de jocs, és que C-C, que és la represàlia, és una jugada que no està en equilibri; és a dir, per a un jugador, jugar C no és el millor que pot fer si l'altre també juga C. I per tant, si les amenaces no queden ben lligades d'aquesta manera, es debiliten com a tals amenaces i cauen en el problema de la manca de credibilitat i de les especulacions



com la que us he exposat fa un moment. Tots aquests raonaments no els hagués pogut fer si C-C hagués estat en equilibri, perquè en aquest cas reconec que si faig C, ell ha de fer C, o si ell fa C, jo haig de fer C. Per tant, i per concloure, si aquest fos el cas, llavors la repetició ens obriria certament possibilitats per a l'estabilització de la cooperació mitjançant amenaces creïbles. Però no és el cas.

#### I SI SEMPRE HI HA UN DEMÀ?

Tot això em porta a una darrera observació, ja força avançada, que consisteix a considerar la situació en què la repetició és infinita. La *repetició infinita* és un terme tècnic, però el que vol dir realment és que tenim una situació dinàmica, en què el present sempre té un demà. No hi ha cap punt final, sempre el que es fa avui pot condicionar el que succeirà demà. Per tant, dir que les repeticions són infinites és una manera de dir que el món no s'acaba. Veurem llavors que el tema de la credibilitat de les amenaces s'enriqueix considerablement.

Considereu altra vegada el dilema del presoner. Ja us he explicat que amb un nombre finit de repeticions no podem obtenir (com un fenomen d'equilibri) la cooperació en cap període. Però si la repetició és infinita la situació és diferent. Ara podríem jugar l'estratègia següent: en el primer període prenem l'acció altruista, i després continuem cooperant mentre l'oponent vulgui, o sigui, mentre tots anem cooperant (prenent l'acció altruista). I què passarà si en un moment determinat algú es desvia? Al cap i a la fi, l'incentiu momentani a desviar-se sempre hi és. Doncs bé, si en qualsevol període hi ha una desviació (algú pren l'acció egoista), a partir d'aquell moment, i ja per sempre, tots dos jugadors prendrem l'acció egoista. Aquestes estratègies tindran l'efecte d'estabilitzar el comportament cooperatiu. Cada jugador pot reconèi-

xer que mai no li sortirà a compte desviar-se, perquè si es desvia en un període, guanya en aquest període, però perd per tot el futur (estrictament parlant, aquí cal suposar que tot el futur junt val més que el moment present). És per això que és important que sempre hi hagi un futur. Per tant, el que observariem des de la perfecta no-cooperació seria la cooperació perfecta, sostinguda amb amenaces. A més a més, i aquest és l'element nou, aquestes són creïbles. Efectivament, si hi ha una desviació, el comportament egoista indicat per l'estratègia per als dos jugadors s'autoreforça. És un comportament que està mútuament en equilibri: una vegada jo sé que ell juga de manera egoista, el millor que jo puc fer és jugar també egoistament.

Hem vist, doncs, un exemple de com la cooperació pot sorgir de la no-cooperació en un context dinàmic en què el present sempre té un futur i on es fan servir estratègies dinàmiques creïbles. Aquest exemple és completament general: el comportament cooperatiu és induïble de manera creïble a qualsevol joc infinitament repetit. Aquest és un resultat de R. J. Aumann i també d'Ariel Rubinstein. Per Aumann, aquest només és el punt de partida. De fet, Aumann va centrar la seva atenció en les situacions, molt més subtils, en què la informació que tenen els diferents jugadors és imperfecta, de manera que cada jugador pot no saber el joc exacte que està jugant, i en les situacions en què pot haver-hi una cooperació de tipus parcial (dins subgrups de jugadors). Però el resultat final sempre té alguna variant de l'afirmació que, en situacions de complexitat molt diversa, si l'horitzó del joc no és tancat, llavors és possible mantenir la cooperació a partir de principis de no-cooperació.

En conclusió, podríem dir que podem cooperar jugant i per interès propi.

## BIBLIOGRAFIA

- AUMANN, R. J. (2000). *Collected Papers*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.
- AXELROD, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. Nova York: Basic Books.
- KUHN, H. W. [ed.] (1997). *Classics in Game Theory*. Princeton (Nova Jersey): Princeton University Press. [Inclou articles de R. J. Aumann]
- SHELLING, T. C. (1960). *The Strategy of Conflict*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press.
- (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. Nova York: W. W. Norton.

## WEBS

<http://www.nobelprize.org>  
<http://www.ma.huji.ac.il/raumann>  
<http://www.eumed.net/cursecon/juegos/index.htm>  
<http://www.eumed.net/cursecon/economistas/nash.htm>  
<http://www.eumed.net/cursecon/textos/2005/schelling-mm.htm>



## PUBLICACIONS DE LA PRESIDÈNCIA

### Títols publicats

- 1 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Sessió inaugural del curs 1999-2000* (1999)
- 2 *Debat sobre humanitats* (2000) [exhaurit]
- 3 *Els premis Nobel de l'any 1999: Cicle de conferències* (2000)
- 4 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Restauració de la Casa de Convalescència: Octubre 2000, acte inaugural* (2001) [exhaurit]
- 5 *Els premis Nobel de l'any 2000: Cicle de conferències* (2001)
- 6 *Homenatge als nostres pobles i a la seua gent: Segon cicle de conferències al nord del País Valencià* (2001) [exhaurit]
- 7 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Seu de Castelló de la Plana: Juny de 2001, acte inaugural* (2001)
- 8 *Debat sobre les plantes transgèniques* (2002)
- 9 Pendent de publicació
- 10 *Any Mossèn Alcover: Presentació de la Lletra de convit 2001* (2003)
- 11 *L'aigua i el medi: Cicle de conferències* (2003)
- 12 *La ciència en la història dels Països Catalans: Presentació del projecte* (2002)
- 13 *Els premis Nobel de l'any 2001: Cicle de conferències* (2002)
- 14 Joan MARTÍ I CASTELL, *Institut d'Estudis Catalans: Del Dictamen acord de 1907 als Estatuts de 2001* (2002)
- 15 *Atlas lingüístic del domini català: Presentació del primer volum* (2002)

- 16 *Homenatge als nostres pobles i a la seua gent: Primer cicle de conferències al sud del País Valencià* (2004)
- 17 *La terra i el medi: Cicle de conferències* (2005)
- 18 Josefina SALORD RIPOLL, *Els filòlegs menorquins i l'Institut d'Estudis Catalans* (2003)
- 19 *Educar en la política: Dotze raons per a la participació en la vida pública: Presentació del llibre* (2003)
- 20 *Els premis Nobel de l'any 2002: Cicle de conferències* (2004)
- 21 *Els premis Nobel de l'any 2003: Cicle de conferències* (2004)
- 22 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Declaracions institucionals sobre la llengua catalana* (2004)
- 23 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Perspectives del segle XXI: Recerca i país: declaració institucional* (2004)
- 24 *Perspectives del segle XXI: Recerca i país: Cicle de conferències* (2006)
- 25 *Els premis Nobel de l'any 2004: Cicle de conferències* (2006)
- 26 *Sessió sobre el dèficit fiscal: Conferències pronunciades el 10 de febrer de 2005* (2005)
- 27 *El foc i el medi: Cicle de conferències* (2007)
- 28 *L'aire i el medi: Cicle de conferències* (2008)
- 29 *El naixement de Jaume I: Drama històric amb pròleg, quatre actes i epíleg* (2008)
- 30 *Jaume I i la seva època: Anàlisi breu d'un important llegat polític i cultural* (2008)
- 31 *Els premis Nobel de l'any 2005: Cicle de conferències* (2008)



