

CONFERÈNCIA

per

JOSEP FONT CIERCO

Moltes gràcies, Pilar, per les teves paraules de presentació que crec totalment immerescudes, i crec que és un gran repte i una gran responsabilitat el fet que jo presenti aquesta primera conferència de com serà la química, en aquest cas la química orgànica, en el segle XXI. Entre d'altres coses perquè això és difícilíssim de saber, perquè si saber el que serà la química dintre de cinc anys ja és difícil, imagineu-vos predir el que serà la química al segle XXI. Però bé, intentaré fer el que pugui.

Aquesta conferència és part d'una xerrada que ja vaig fer a Tarragona amb motiu del XXV aniversari de la Facultat de Química per a un públic no similar al present, sinó més aviat per alumnes, i per tant tenia una vessant més pedagògica. He intentat refer-la una mica.

Tal com tu has dit, Pilar, potser seria bo explicar què ha estat la química orgànica durant el segle XX i quines han estat les fites més importants. Però no m'hi entretindré gaire perquè més aviat vaig agafar el teu repte i vull parlar del que serà la química orgànica al segle XXI, o d'aquí a deu o vint anys.

Dividiré aquesta xerrada en tres parts, una de més llarga, que és una visió de futur científic, per dir-ho així, una visió de futur català, una altra des del punt de vista administratiu o polític pel càrrec que ara ocupo (i per tant passaré algunes dades de com podria desenvolupar-se la química a casa nostra en els propers anys), i una petita visió, també, econòmica.

EL FUTUR CIENTÍFIC DE LA QUÍMICA ORGÀNICA

Des del punt de vista de les fites més importants de la química orgànica en el segle XX, molts dels que esteu aquí ja les coneixeu, no fa falta que les repetei-

xi. Però potser a grans trets cal dir que probablement el més important ha estat el tema de les grans síntesis, amb noms i cognoms al darrere, com Woodward, Corey, Nicolaou, Eschenmocher, etc. És a dir, la capacitat que ha tingut el químic orgànic per sintetitzar grans molècules, per exemple, de cinquanta àtoms de carboni o més, partint de blocs petits i assequibles (síntesis totals), fent síntesis de trenta, quaranta, cinquanta passos, encara que els rendiments globals siguin baixos. Tot el que hi ha hagut darrere de les grans síntesis ha produït un gran impacte i ha donat lloc al desenvolupament de la metodologia de síntesi, a la química organometàl·lica, a la síntesi estereoselectiva, a la racionalització mecanista, etc. Tot el tema dels productes naturals i les seves rutes metabòliques també em sembla que ha estat una fita important de la química orgànica. Un altre punt important ha estat l'elucidació estructural, és a dir, la posada a punt de mètodes analítics que han permès la determinació estructural en química orgànica amb relativa facilitat: espectroscòpies d'infraroig, de ressonància magnètica nuclear, raigs X..., però especialment la ressonància magnètica nuclear: aquesta tècnica ha provocat un canvi total en l'elucidació estructural dels anys cinquanta als anys noranta. Tot el desenvolupament del bagatge teòric, dels mecanismes de reacció en la química orgànica, també em sembla que ha estat una fita important. Des dels anys vint, quan es postula el joc de la parella d'electrons de Lewis fins a tota la descripció semiòtica mecanista d'Ingold, que per cert mai no li van donar el Premi Nobel, així com les regles de Woodward-Hoffman i tot el tema de les reaccions pericícliques, s'ha fet un pas important en la previsió del comportament reactiu de la molècula orgànica. *Last but not least*, i aquí entre el públic hi ha un parell de científics distingits en la química computacional, tota la problemàtica de l'aplicació de la química teòrica, per tant, dels ordinadors a la química orgànica, sigui via *self consistent field* i *ab initio* (és a dir, d'aquestes coses que sap el Dr. Olivella), o sigui, via la mecànica molecular i la modelització molecular (que tan bé coneix el Dr. Carlos Jaime) també han contribuït a comprendre amb més profunditat la química orgànica. De tot aquest bagatge hauria d'arrancar el que farem durant el segle XXI.

Una pregunta innocent que ens podríem fer és: la química, i especialment la química orgànica, s'ha acabat?, perquè hom podria tenir la impressió que amb tot el que s'ha fet durant els segles XIX i XX la química és una ciència closa (tancada). Jo vaig sentir, no fa gaire, dir a un físic que la química era una ciència acabada, ja que amb l'equació de Schroedinger, la mecànica quàntica i ordinadors potents es podria predir tot el comportament de la matèria pel que fa a la capa externa dels àtoms i les molècules (és a dir, els electrons), i per tant, ara, l'important era l'estudi aprofundit del nucli. Bé, jo no crec que volgués fer una afirmació tan forta, perquè en química hi ha encara molt camp per córrer, més concretament molts camps per córrer, i això serà una mica l'objecte de la meua

xerrada. Especialment el de reduir el *gap* que existeix entre la química i la biologia. Entenc que una bona part del treball del segle XXI s'efectuarà en la interfície entre química supramolecular i biologia molecular. I en aquesta interfície els químics orgànics i els biòlegs cada cop hi han de confluïr més, ja ho estan fent i ho faran més en el futur.

En aquest apartat de la bioorgànica s'han de resoldre preguntes vitals importants, jo diria preguntes teleològiques. Per exemple, el món que veiem està predeterminat per la matèria que tenim, o hi podria haver un altre tipus de món? Els aminoàcids han de ser L o podrien ser D? La desoxiribosa del DNA ha de ser de la sèrie D o podria ser de la sèrie L? Em sembla que aquestes són preguntes que un se les ha de fer, que els orgànics se les estan fent, i que intentaran provar si això és cert o no; és a dir, si podria haver-hi un món diferent de l'actual, fet que està lligat amb l'existència de vida a la Terra. Fins i tot diferent quant als *building blocks*, o sigui, de les unitats que suporten la vida tal com la veiem aquí, en aquest planeta. Un altre punt que donarà molt joc durant el segle XXI és la interfície química en temes socials, és a dir, la química del medi ambient, una producció més neta, etc. Això també intentaré tocar-ho una mica.

Dit això, que seria un resum de l'encàrrec de la conferència, doncs anem al tema. La primera figura és una que al Dr. Castells li agradarà (fig. 1), perquè ja ens la passava ell en aquella primera lliçó famosa del programa de química orgànica. O sigui, com és possible que l'àtom de carboni, que representa el 0,02 % de la composició elemental de l'Univers, i que a l'escorça de la Terra és

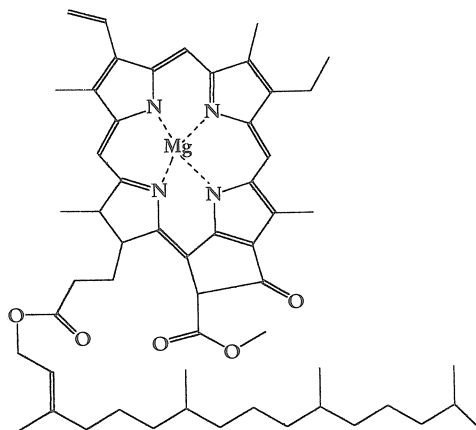
FIGURA 1
Composició elemental de l'escorça de la Terra (%)

O	46,6	C < 2	
Si	27,2	H < 2	
Al	8,1	Na, K, Mg, Ca	10
Fe	5,0		

Composició elemental de l'Univers (%)

H	91
He	9,1
C	0,02
N	0,04
O	0,57

FIGURA 2
Clorofil·la



escassament el 2 %, doni tant de joc. Bé, dóna tant joc perquè l'àtom de carboni pot donar lloc a infinitat de molècules definides i estructurades, molt diferents, per exemple, de les estructures molt organitzades però iteratives de les molècules inorgàniques: penseu en l'aigua en el seu estat sòlid. Les molècules orgàniques donen lloc a la diversitat gradual, mentre que les inorgàniques tot i la seva organització i estructuració són «fixes». O sigui, l'àtom de carboni és capaç d'estructurar-se, per exemple, en aquesta molècula de clorofil·la, amb 55 àtoms de carboni, molècula que constitueix el paradigma de totes les plantes verdes i la seva possibilitat de fixació del CO_2 atmosfèric (fig. 2). Per tant, hi ha alguna cosa darrere de l'àtom de carboni. Però, a més, l'àtom de carboni ens interessa no solament perquè sobre ell s'ha constituït el suport de la vida, amb tota la immensa varietat de productes orgànics que es troben en els éssers vius, sinó que, a més de les molècules carbonades, hi extraïem majoritàriament l'energia que usem; i de l'àtom de carboni en fem materials, ja que, a part dels materials inorgànics, hi ha un bon suport de materials orgànics en els utilitats diaris. Aquests tres eixos són importants i jo crec que continuaran sent importants en el segle XXI (fig. 3).

Per què l'àtom de carboni es comporta d'aquesta manera tan especial? Bé em sembla que això se'ns ha explicat moltes vegades i ho explicaré molt ràpidament. Una primera propietat es deu a la seva configuració electrònica, que permet l'existència de molècules hidrocarbonades sense buits electrònics ni

FIGURA 3
Química del carboni

- * Vida
- * Energia
- * Materials

Fonts del carboni

- * Carbó
 - * Petroli
 - * Carboni inorgànic: CO_2 , $\text{CO}_3^{=}$
- } Material orgànic fòssil

parelles d'electrons per compartir (fig. 4). El metà, doncs, és ben diferent electrònicament de com pugui ser l'amoníac, o l'aigua, o la hidracina.

Una segona propietat consisteix en el fet que els enllaços que involucra l'àtom de carboni siguin enllaços CC, CH, CO, CN, etc., són enllaços forts i per tant el trencament homolític d'aquests enllaços és costós, a diferència d'altres enllaços tipus O–O, N–N, etc., que són més febles. I encara que alguns puguin ser més forts que els de l'àtom de carboni, per exemple Si–O, sembla que no es pot visualitzar una vida suportada sobre una estructura de silicats a causa de l'existència d'orbitals *d* buits en l'àtom de Si, assequibles energèticament, i en canvi sí que pot visualitzar sobre carboni (figures 5 i 6).

FIGURA 4
Configuració electrònica d'alguns elements

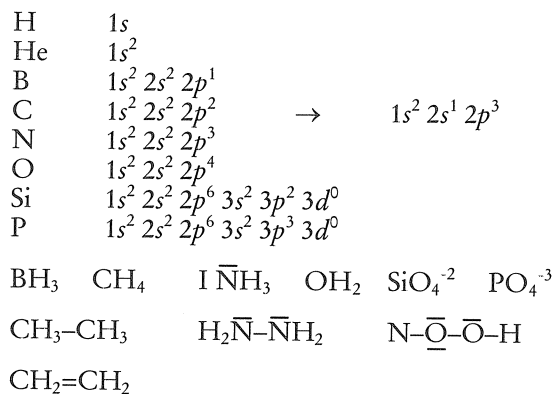


FIGURA 5
 ΔH dels enllaços (kJ/mol^{-1})

C - C	348	C - H	412	C - O	360	
C = C	608	C = O	743	C - N	304	
H - H	436	N - N	163	O - O	146	Si - Si 176
Si - O	448	O = O	497	N = N	945	
N - H	388					
O - H	465					

Una tercera propietat té a veure amb el pK_a dels enllaços C-H, o sigui, amb el trencament heterolític dels enllaços carboni-hidrogen. Aquest trencament té tota una gradació energètica dependent de la hibridació de l'àtom de carboni, sigui sp^3 , sp^2 , sp , i fins i tot dels enllaços C-H alfa respecte a un grup funcional. Precisament aquests grups funcionals són els punts reactius de les molècules orgàniques.

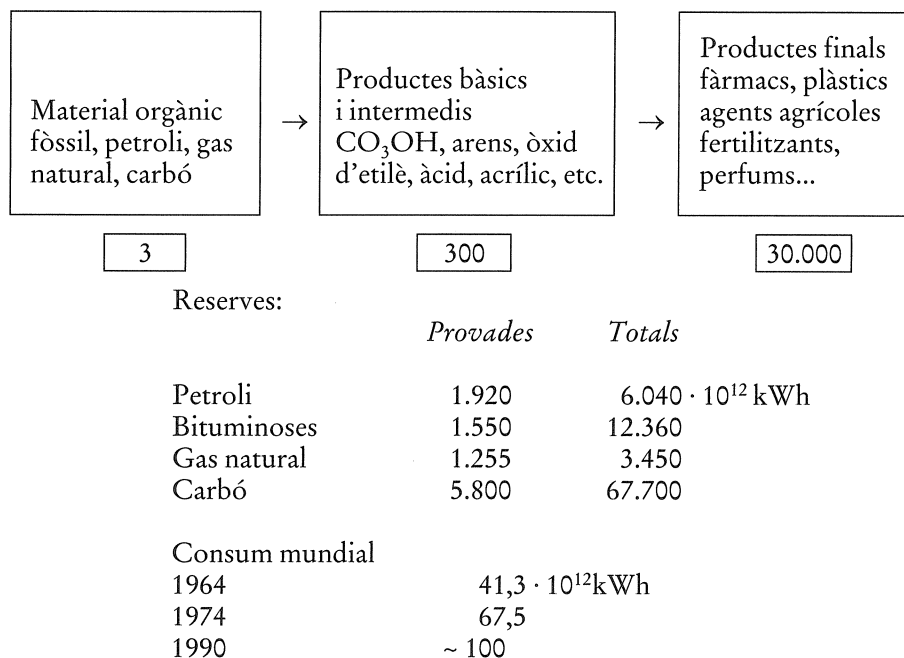
Resumint, tot el que ha donat de si el segle XX sobre el desenvolupament de la química orgànica és la base per entendre què serà aquesta química al segle que ve.

Ja hem dit que per continuar la química del carboni, per tant, la química orgànica, com a mínim hem de tenir material orgànic, aleshores, el material orgànic d'on procedeix? En primer lloc hem de considerar les fonts del carboni, que són carbó, petroli, o sigui, material orgànic fòssil, format per diagènesi del material orgànic (o sigui, en el fons dels éssers vius), i carboni no orgànic amb forma de CO_2 i de carbonats. El CO_2 es troba a l'atmosfera i també dissolt a l'aigua del mar, i els carbonats, a les roques i també a l'aigua del mar. Quines seran les fonts i com es farà el reciclatge del material orgànic seran les primeres qüestions que durant el segle XXI s'hauran de respondre. Tot el mate-

FIGURA 6

pK_a	
- C - H	>40
= C - H	35
$\equiv$ C - H	22
N - H	30
O - H	18
S - H	10
C - C = O	20
H	

FIGURA 7



rial orgànic en aquests moments ve del material orgànic fòssil, o sigui, petroli, gas natural o carbó. Tres matèries primeres, que són molt importants i a partir de les quals obtenim d'entrada tres-cents (o sigui un factor de 10²) productes bàsics intermedis, com poden ser l'etilè, el propilè, l'òxid d'etilè, el benzè, altres arens..., l'àcid acrílic, el metanol, etc. I d'aquests tres-cents se'n fabriquen trenta mil més, que són finalment els que utilitzem, com els plàstics, els fàrmacs, els fertilitzants, els perfums, etc.

Les reserves provades i calculades d'aquestes matèries primeres es donen en el quadre adjunt (fig. 7) en forma d'unitats energètiques (kWh). És evident que si el consum es refereix només al petroli existent, aquest s'exhauriria en uns seixanta anys. La font alternativa és el carbó. Però aquest s'haurà de «liquar» o hidrocarbonar, ja que la dosificació energètica és molt més fàcil d'obtenir mitjançant líquids o gasos que no pas sòlids.

La conversió del carbó en hidrocarburs saturats o insaturats lineals és, doncs, un primer i gran problema.

En efecte, la figura representa l'estructura del carbó: fonamentalment, com es veu (fig. 8), hi existeixen nuclis aromàtics i cicloalcanics; recordem que

FIGURA 8

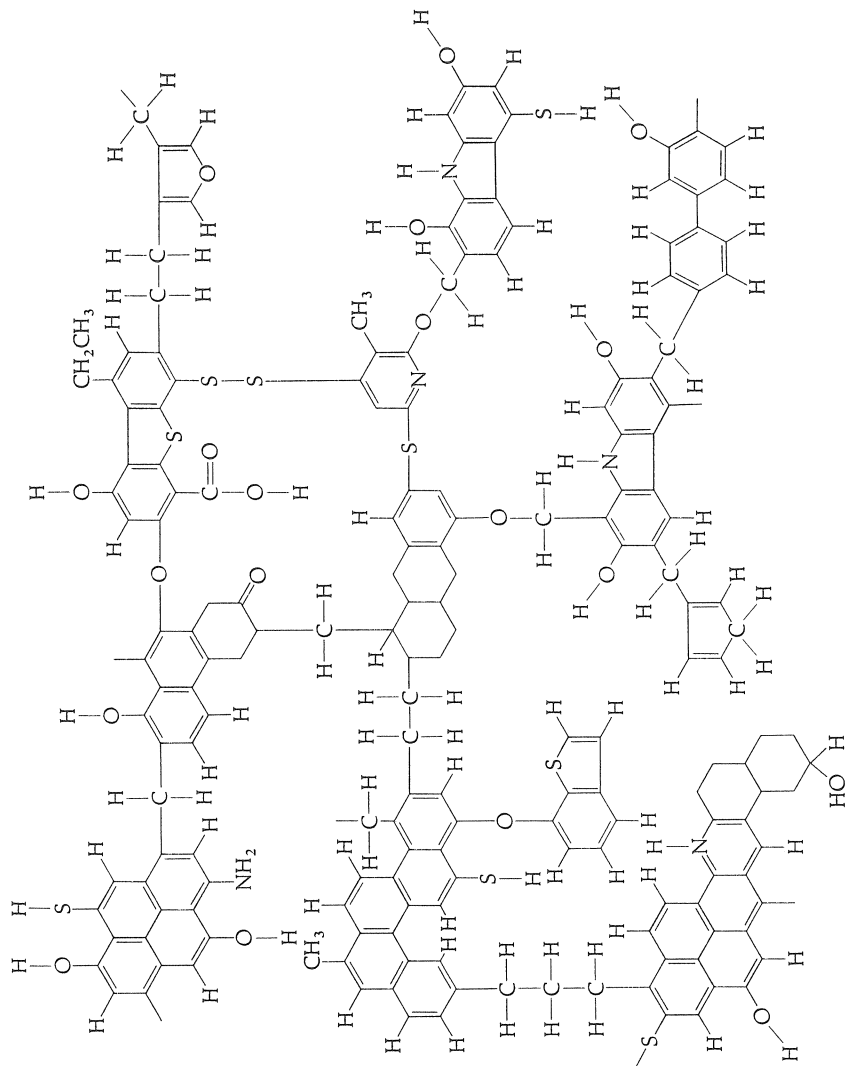
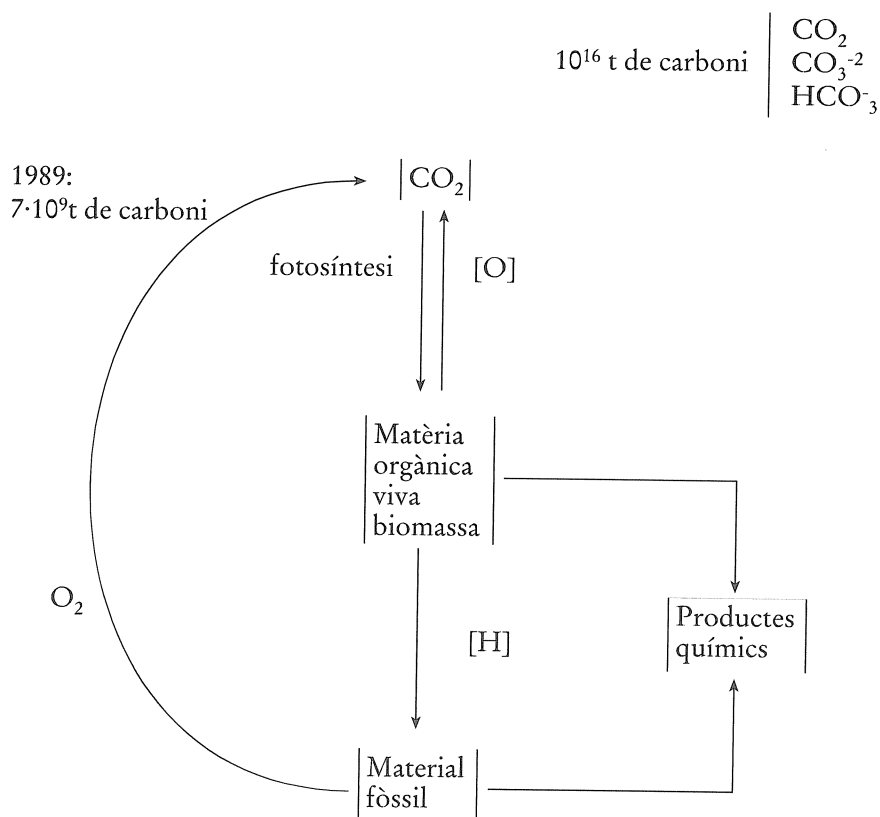


FIGURA 9

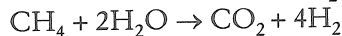
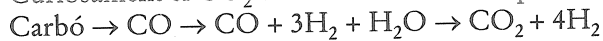


en la destil·lació seca del carbó s'obtenen compostos aromàtics. La «liquació» significaria passar de carbó sòlid a hidrocarburs líquids, seria doncs una liquació reductiva. Això en el fons és convertir hidrocarburs aromàtics en hidrocarburs saturats o insaturats lineals o ramificats, i això no és fàcil, s'hi ha de treballar molt. Només vull recordar aquí dos hidrocarburs universalment emprats ara com a font energètica; el C₁ (el metà) i el isooctà, que és el que s'utilitza per al nombre d'octans en la gasolina. Tot i els estudis ja efectuats, no hi ha un procediment còmode i barat que converteixi el carbó en petroli.

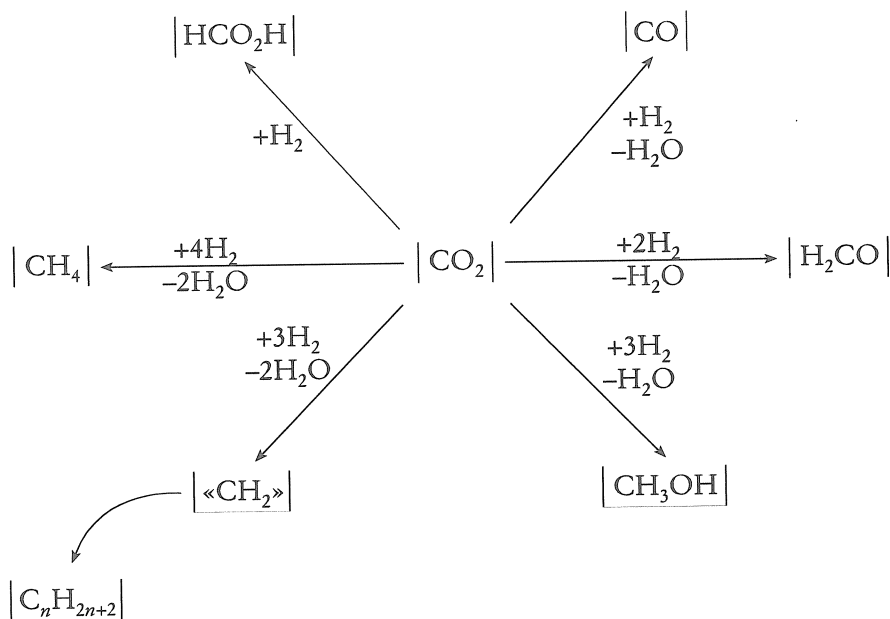
Si el petroli s'esgota i no es pugués «liquar» el carbó, o costés molt fer-ho des del punt de vista energètic, hi hauria una veritable carència de matèries primeres de base, i per tant s'hauria de trobar una nova font de carboni. Una de les coses que s'està investigant, i que en principi formaria part de la química del

FIGURA 10

Curiosament el CO_2 utilitzat a la indústria prové de material fòssil:



Possibles transformacions del CO_2 :

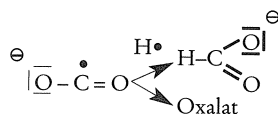


segle XXI, és reconvertir el CO_2 , o sigui, el producte d'oxidació final dels combustibles fòssils, en compostos orgànics manipulables i traspassables a molècules més grans (fig. 9). Això significa, en definitiva, reduir el CO_2 . De CO_2 , n'hi ha a la Terra un total de 10^{16} t, incloses les formes de carbonat i de bicarbonat, i cada any se'n produeixen $7 \cdot 10^9$ t, i ara probablement més, ja que aquesta dada era de l'any 1989, i la combustió dels materials fòssils ha augmentat considerablement en els darrers anys.

La fotosíntesi, que representa la reducció natural del CO_2 a biomassa, no és capaç de reciclar aquestes quantitats immenses de CO_2 . L'exemple clàssic seria parlar de la desforestació de la conca de l'Amazònia, però n'hi ha de més punyents, com són la desertització de bona part del món i els grans focs que afecten casa nostra. Convertir la biomassa en material fòssil, és a dir, efectuar una diagènesi, costa milers d'anys, i això podria ser i és un punt de recerca,

FIGURA 11

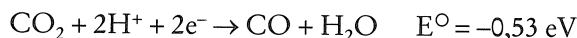
Reducció electroquímica:



Reducció electroquímica amb catalitzador:



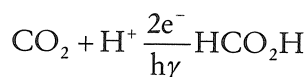
però



catalitzadors: $\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{CO})_2(\text{PF}_6)_2$

$[\text{Co}(\text{terpy})_2](\text{PF}_6)_2$ pel·lícula polimèrica

Reducció fotoquímica:



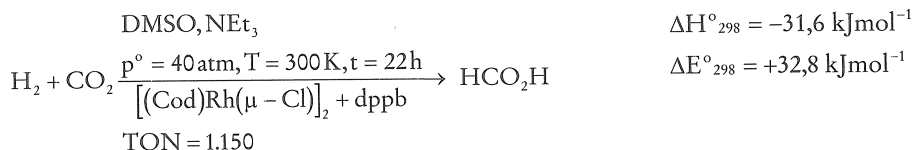
metilviologen, complexos de Ru

però sembla més rendible convertir el CO_2 i passar-lo a metà o a metanol, és a dir, hidrogenar-lo, reduir-lo.

En el quadre (fig. 10) es poden veure els productes que teòricament es podrien obtenir del CO_2 : àcid fòrmic, o monòxid de carboni, formaldehid, metanol o « CH_2 » polimèric, amb el qual ens n'aniríem cap a hidrocarburs; fins i tot metà. A partir d'aquests blocs C_1 es podria anar elaborant material orgànic més complex. Curiosament el CO_2 , utilitzat a la indústria en aquests moments, prové del material fòssil, no prové de l'atmosfera, sinó que, segons el mètode emprat, s'utilitza com a material de partida el carbó, el qual es converteix en CO i aquest CO passa a CO_2 i hidrogen, o bé s'utilitza el metà.

Des del punt de vista electroquímic, la reducció del CO_2 implica, en un primer pas, introduir un electró i això té una diferència energètica d'1,9 eV. Un cop tenim aquest radical aniònic, aquest pot reaccionar amb un radical hidrogen i donar formiat o anar-se'n cap a oxalat per dimerització. Amb aquests productes ja es podria pujar la cadena de substàncies orgàniques útils, però, és clar,

FIGURA 12
Hidrogenació del CO₂ en presència de catalitzadors



Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 1995, núm. 34, p. 2207.

són aquests 1,9 eV els que en aquest moment impedeixen que la reducció electroquímica es pugui fer (fig. 11). Reducció electroquímica amb catalitzador? L'energia d'activació ràpidament baixa fins a 0,61 eV. Per tant, amb catalitzadors es podria convertir el CO₂ a CO. La recerca d'aquests catalitzadors ja s'ha iniciat, però el treball serà llarg. Ja hi ha catalitzadors, com els de trisbipiridina-ruteni, o altres tipus de catalitzadors que són capaços de reduir fotoquímicament el CO₂, però també existeixen catalitzadors de rodi que ho fan tèrmicament amb relativa efectivitat (fig. 12).

Recentment, durant 1995, s'ha fet aquest tipus de reducció del CO₂ a fòrmic, amb el catalitzador indicat a la figura, és a dir, un ciclopentadienil rodi, i això funciona amb *turnovers* bastant importants, o sigui, que el catalitzador no es fa malbé al llarg de milers de cicles reductors. S'està pensant també en la reacció entre el CO₂ i el metà per convertir-los en àcid acètic, amb el qual estariem en l'equivalent de l'etilè petroquímic o l'acetilè carboquímic, o sigui, dos àtoms de carboni funcionalitzats. Per tant, aquesta hidrogenació del CO₂ amb presència de catalitzadors és possible, i si em permeteu que usi la bola de cristall, crec que aquest tipus de recerca pot donar lloc a molts treballs amb un futur prometedor. No solament des del punt de vista de poder disposar de la reconversió del CO₂ per ser utilitzat com a font de carboni (ja hem vist que de CO₂ i de carbonats n'hi ha molt), sinó perquè això reduiria el problema mediambiental del CO₂ a l'atmosfera i minvaria l'efecte hivernacle i obtindríem un cicle del carboni molt més natural que l'actual.

A continuació, la meua exposició es basarà fonamentalment en un article de Whitesides de l'any 1990, que es titula «Com serà la química en els propers vint anys» (no en el segle XXI!, com preteníem fer aquí; Whitesides amb vint anys ja en tenia prou). Bé, segons ell, i en algunes coses té raó i les comparteixo plenament, si no no ho diria aquí, hi haurà un *pull* i un *push* sobre la química. Un *pull* social i un *push* de la ciència bàsica.

Un *pull* social, que provindria del que ell en diu *seguretat nacional*. Què s'entén per *seguretat nacional*? Vol dir que la ciència ha avançat, almenys en el segle XIX i en el segle XX gràcies a les guerres, desgraciadament. Hi ha hagut un *pull* de competitivitat entre les nacions en el sentit guerrer, de conquesta o destrucció. La recerca anava encaminada fonamentalment a trobar mitjans per destruir l'enemic; aquesta voluntat política ha donat un *pull* important a la ciència. L'energia nuclear, amb tot el desenvolupament de la física nuclear, les gasolines d'alt octanatge pels avions de retropropulsió, la penicil·lina mateixa són productes de la guerra. De la guerra real, i no de la guerra econòmica. La penicil·lina, i ho poso com a exemple innocu, si no hagués estat per la Segona

FIGURA 13

Pull/push en la química del futur

<i>Pull</i>	<i>Push</i>
Seguretat nacional	Química dels materials
Competitivitat econòmica	Polímers
Competitivitat equivalent a la guerra	Superfícies i interfícies
	Materials per a manufactura
Sanitat	Materials funcionals i/o <i>smart</i>
Població més vella	Materials compatibles medi ambient
Epidèmies globals	
Cost	Química biològica
Drogues	Reconeixement molecular
	Evolució i <i>self-assembly</i>
Medi ambient	Bioenergètica
Energia	Química computacional
Alternatives als combustibles fòssils	Més poder
Electricitat	Noves arquitectures
	Ciència bàsica petita
	Explorant els límits:
	més petit, més ràpid, més gran

Guerra Mundial, probablement no hagués passat a fase de desenvolupament fins molt més tard. Tot el que havia descobert Fleming s'hauria quedat en un racó o almenys no s'hauria potenciat tan ràpidament. I això és vàlid també per tot el que ha vingut després: antibiòtics, nous materials ceràmics, computadors, la comunicació per satèl·lit, molts d'aquests avenços han tingut arrels en problemes militars. Com que sembla que la Gran Guerra s'ha acabat, la humanitat necessita una competitivitat equivalent a la de la conflagració, i aquesta no pot ser d'altra que la competitivitat econòmica. Les nacions competiran econòmicament per saber qui produeix més barat, qui produeix millor i qui produeix amb més qualitat. Per tant, des del punt de vista de la química i des del punt de vista de la química orgànica, l'important serà produir cada cop més net, cada cop més barat, cada cop més competitiu, i cada cop, més que obtenir compostos químics per ells mateixos, obtenir compostos químics que serveixin per a alguna cosa, és a dir, que siguin rellevants. Per exemple, ja no servirà fer plàstics, sinó que s'hauran de fer plàstics dels quals es conegui exactament la composició molecular i el pes molecular en cada punt de la superfície, cosa que seria útil per fer un cotxe de plàstic emmotllable, però en el qual hi hagues sin punts més densos que d'altres i, per tant, amb una gradació de la resistència a la tracció o al trencament (fig. 13).

Per això, arran d'aquesta competitivitat, les multinacionals s'ajunten, es fusionen, s'amalgamen, i cada cop es fan més fortes, però supranacionalment. La competitivitat econòmica no necessàriament ha de ser entre nacions, sinó que molt probablement serà entre empreses. Hi ha una globalització del mercat, i d'aquesta globalització del mercat els químics n'hem de ser conscients traient-ne el profit adequat. Avui mateix, i ho comentàvem abans d'entrar a la sala, el mimetisme que hi ha en les empreses farmacèutiques multinacionals de fora també apareix aquí a Catalunya. Laboratoris Almirall es fusiona amb Laboratoris Prodes Farma per fer una empresa més gran, i som conscients que el resultat encara serà un nan comparat amb Glaxo-Wellcome o amb SmithKline Beecham. Aquest *pull* social globalitzador serà, doncs, un punt important a tenir en compte.

Un altre punt sotmès al *pull* de la societat serà el medi ambient. El medi ambient també influirà en el desenvolupament de la química orgànica. Per exemple, en la minimització de costos: moltes substàncies que s'obtenen en aquest moment segons un determinat mètode s'hauran de preparar amb mètodes alternatius que embrutin menys, i que sobretot minimitzin l'economia del nombre d'àtoms involucrats, és a dir, que correspongui al màxim possible el nombre d'àtoms de les reaccions de partida amb el nombre d'àtoms de les reaccions d'arribada, que no hi hagi malbaratament atòmic, per dir-ho així. Per no parlar de l'ús de dissolvents no contaminants, especialment de dissolvents no clorats, etc. També suposo que des del punt de vista de la química orgànica s'hauran d'estudiar dintre del capítol del medi ambient molts meca-

nismes i cinètiques de reacció de degradació de compostos orgànics, bé per biodegradació en les aigües superficials o subàlvies, oxidació en l'atmosfera o fotodegradació a l'alta atmosfera. Des del punt de vista mecanista o des del punt de vista teòric, aquests temes poden conduir a la generació d'un important bloc de treball.

Tot el tema de la toxicologia de les substàncies orgàniques també serà objecte del *pull* social. No pot ser, i més endavant ho tornaré a tractar, que una molècula com la dioxina es descobrís que era tan tòxica després d'haver passat l'accident de Seveso. S'ha de fer un control toxicològic més exhaustiu de cada una de les substàncies orgàniques. I sobretot minimitzar els accidents en les fàbriques químiques. No ens podem permetre —o no hauríem de permetre— que hi hagi un altre Bhopal. Per tant, és evident que hi haurà d'haver molta feina relacionada amb la seguretat tant de treball com de l'ús de les substàncies orgàniques.

Ens resta parlar encara de dos temes que tiraran fortament de la recerca. Un és l'energia o, millor dit, les fonts energètiques, l'altre és la sanitat. Els temes energètics els he tractat abans, en les alternatives als combustibles fòssils, però aleshores he abordat més les alternatives als combustibles fòssils com a font de matèria orgànica, no com a font energètica. Tots sabem l'ús inapropiat del material orgànic fòssil com a font energètica. Quina és l'alternativa? Crec que fonamentalment haurem d'anar a l'energia nuclear, a la transformació d'aquesta energia nuclear en energia elèctrica, i en l'ús més rendible de l'energia elèctrica. Viure de l'energia elèctrica voldrà dir disposar d'acumuladors d'energia que funcionin i que no s'hagin de carregar gaire sovint, perquè el que tenim ara deu ser com quan la humanitat vivia en l'època de la candela. Les bateries actuals suposo que corresponen a l'època prehistòrica. Per fer un paral·lelisme, imagineu-vos una bateria en un telèfon d'aquests mòbils, truques unes quantes vegades i ja has d'anar a corre-cuita a endollar-la un altre cop. Doncs ara penseu la mateixa funció en un cotxe: una bateria s'esgota al cap de cent quilòmetres, i per carregar-la hi has d'estar vint-i-quatre hores. Si es compara amb la disponibilitat d'ús de la gasolina això no té color. Entenc que en aquest tema els químics inorgànics hi tenen molt més a dir que nosaltres i d'ells és el futur, però potser també els orgànics amb nous materials polimèrics de tipus superconductors podran incidir-hi fortament.

El tema de la sanitat sí que és important, perquè hi ha molts fàrmacs, i, per tant, molta química orgànica al darrere. És evident que el disseny racional de nous fàrmacs cada vegada tindrà més importància. Hi ha moltes coses resoltes en farmacologia, però com que resulta que cada vegada hi ha més gent gran, cada vegada hi haurà més càncer, cada vegada hi haurà més malalties cardiovasculars, cada vegada hi haurà més diabetis, cada vegada hi haurà més artritis, cada vegada hi haurà més Alzheimer, cada vegada hi haurà més problemes odontològics, etc. Sense comptar les noves epidèmies, la sida, i altres epidèmies

que hi pugui haver, com el virus de l'Ebola, etc. Tot això vol dir que necessitarem més fàrmacs per curar o pal·liar aquestes malalties, i, per tant, des del punt de vista del químic orgànic això és importantíssim. A part, els fàrmacs actuals s'hauran de preparar segons nous processos per minimitzar el cost, perquè les seguretats socials dels estats diuen que ja estan tipes de pagar, i, per tant, volen medicines més barates. En aquest apartat s'hi ajunta el tema de les patents, dels genèrics, etc. En resum, una perspectiva plena de feina per fer.

També hauríem de fer esment al tema de la drogaaddicció des del punt de vista d'avenços farmacològics. Hi ha les drogaaddiccions, ben bé prou que ho sabem, però com es poden curar? En això hi ha molta poca cosa feta i en aquest punt el capítol de la neuroquímica donarà, en principi, molt de si. Una afirmació important: la majoria de fàrmacs continuaran fent-se per síntesis, això pels químics orgànics sembla que és bo, però cal pensar en noves tecnologies, biotecnologia, enginyeria genètica, fermentacions, química combinatòria, etc. Quant a nous materials, podem fer una llista aquí dins de la química supramolecular dels materials orgànics que actuin com a xips moleculars, és a dir, amb la idea de modificar el disseny actual del xip (que més aviat es basa en un suport inorgànic, de silici) per obtenir un material orgànic que actuï a escala molecular de semiconductor o de decisions SÍ/NO, 0/1, en definitiva, en veritables xips moleculars, encara que poguessin estar inserits sobre un suport polimèric. Tot el tema dels polímers també es continuarà treballant: superconductors a temperatura ambient (tant poden ser inorgànics com superconductors de tipus orgànic), materials amb coeficients òptics moleculars molt grans, materials orgànics ferromagnètics, sòlids orgànics conductors tèrmics, fluids polimèrics, o sigui, que hi ha tot un ventall ampli d'incidències de la química en temes molt nous, especialment pel que es refereix a nous materials.

M'agradaria ara comentar uns moments l'impacte que tindrà sobre la química orgànica omplir el *gap* o la interfície entre la química i la biologia, és a dir, la química biològica o bioorgànica. Els estudis sobre el reconeixement molecular continuaran sent importants, i ho seran sobretot per la incidència en el disseny racional de fàrmacs, per l'ús en la química preparativa dels anticossos monoclonals i per la seva relació amb la biotecnologia. Sense descartar altres aspectes de recerca bàsica relacionats amb el reconeixement molecular: com es reconeixen les molècules simples entre si, com s'efectua l'autoreconeixement. Podríem enumerar un llarg nombre de camps específics de la química orgànica que poden donar llum en aquest tema, però només citaré el camp dels hidrats de carboni, perquè són carbohidrats les molècules implicades en el reconeixement molecular de la paret cel·lular, per exemple, en la distinció de grups sanguinis (recordem els treballs de Lemieux a Edmonton seguits ara per Bundle), i el camp dels enzims, per tant, proteïnes, de pèptids, especialment en la identificació dels llocs actius i com aquests llocs actius reconeixen les molècules més

simples. Un aspecte que continuarà sent treballat intensament és el dels canals cel·lulars, i el de les molècules ionòfores.

El químic orgànic haurà d'estar atent també a la recerca que es pugui fer al voltant del cultiu cel·lular, que hauria de donar-nos la possibilitat d'obtenir productes naturals sense necessitat de cultivar tota la planta, sinó cultivant només cèl·lules clòniques. Igualment continuarà desenvolupant-se el tema de les fermentacions, i de l'enginyeria genètica, camps en els quals els orgànics potser cada cop hi tenim menys a dir, però que em sembla que no hauríem de deixar escapar l'oportunitat d'interaccionar-hi interdisciplinàriament perquè amb modificacions genètiques podríem obtenir determinats productes que ens interessessin: aquest és un objectiu ja vigent, per exemple, en el desenvolupament d'éssers transgènics.

Una prospecció de la recerca mecanista ens porta a considerar que seran estudiades encara les reaccions concertades o pericícliques, i les reaccions amb transferència monoelectrònica, que en el fons és una visualització més acurada de les substitucions nucleofíliques. Quant a l'elucidació estructural, és difícil que veiem grans avenços. La ressonància magnètica nuclear probablement ha donat ja tot el que havia de donar, simplement s'haurà d'anar explotant l'èxit. Probablement el pas següent serà l'ús més exhaustiu de la difracció de raigs X avançada, de tècniques noves com el microscopi de rastreig d'efecte túnel, CSTM, on es poden veure les densitats electròniques que hi ha entremig dels àtoms, per tant, és com veure directament els enllaços i fins i tot els ponts d'hidrogen.

Una altra possibilitat de treball i d'avenç dins del molt petit i repetitiu seria traslladar a la química orgànica possibilitats com les de la polimerasa del DNA, de la reacció en cadena de la polimerasa, la CPR. Si poguéssim transferir a la química orgànica aquest concepte de la replicació molecular probablement hauríem trobat la panacea de la síntesi.

I pel que fa al molt ràpid, el molt de pressa, cal considerar encara la recerca en fotoquímica, especialment de la *flash photolysis*. Ara és fàcil treballar a escala del picosegon, o sigui, 10^{-12} s, però jo crec que aviat podrem arribar a escales de 10^{-15} s, o sigui, femtosegons. L'ús de la llum del sincrotró es farà més extensiva. Ara ja s'utilitza per fer determinacions estructurals de proteïnes, per exemple, però probablement s'estendrà a d'altres aspectes de la determinació estructural. Amb això no vull anar a favor ni en contra de l'establiment d'un sincrotró a Catalunya, simplement vull indicar-ne les possibilitats.

Quant a la síntesi orgànica, continuaran treballant-se, i amb força, tots els aspectes relacionats amb la síntesi asimètrica, l'obtenció de compostos orgànics enantiomèricament purs, la utilització de metalls, la síntesi combinatòria o química combinatòria, la utilització dels enzims, les fermentacions, els anticossos monoclonals, la síntesi clàssica i, per què no, la síntesi per computadors, així com la síntesi automatitzada.

FIGURA 14

Alguns títols o temes d'articles dels darrers anys a l'Angewandte Chemie

- 1991 Towards the chemical synthesis of proteins
 1,4-Dihydropyridines: Ca Antagonist
 Ene-diyne chemistry
 Chirality Transfer, Multiplication and Amplification
 Amino acids as Chiral Building Blocks in Organic Synthesis
 Molecular Recognition, Host and Guest

- 1992 Proteins from the D-chiral world
 Buckminsterfullerene, the celestial sphere that fell to earth
 Dendrimers, Arborols and Cascade Molecules
 Ion channels
 The complete DNA sequence of the yeast chromosome III

- 1993 Catalytic Antibodies
 Calicheamicin
 Vitamin B₁₂
 Molecular Machines (Proteins and Motion)

- 1994 Photochemical Synthesis of Fine Chemicals with sunlight
 Combinatorial Antibody libraries
 Template Synthesis
 Taxol
 Polymerase Chain Reaction

- 1995 Calixarenes
 CO₂ as Raw Material
 Artificial Antibodies

Grans temes

Química primigènia
 Seqüenciació evolutiva de DNA i proteïnes
 Projecte Genoma

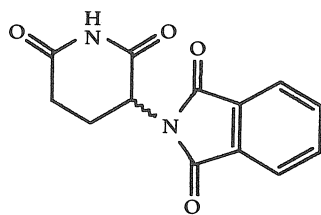
Exploració humana dels planetes
 Supercol·lisionador superconductor

Si hom fa un repàs dels grans temes o títols apareguts en una revista de revisions de prestigi com *Angewandte Chemie*, per exemple, des de l'any 1991 fins al 1995, apareixen molts dels camps de recerca que he citat més amunt. Així tal com veiem en el gràfic (fig. 14).

Com a grans temes, podríem dir teleològics com comentava abans, tenim: la química primigènia (encara no se sap com de la matèria inorgànica o dels primers materials orgànics es va arribar a desenvolupar-se els aminoàcids, les proteïnes i el DNA), la seqüenciació evolutiva del DNA i de les proteïnes al llarg de la cadena d'evolució, el projecte Genoma, etc. Aquest últim no és un petit projecte de seqüenciació del DNA, sinó que és un projecte enorme, a llarg termini, on s'estan abocant molts diners, i que consisteix en la seqüenciació de tot el material genètic humà. Altres grans temes són: l'exploració humana dels planetes (també és un projecte de futur i del qual suposo que els orgànics alguna cosa o altra haurem de dir) i el supercol·lisionador (amb el permís del diccionari) superconductor.

Molt ràpidament vull desenvolupar ara alguns temes que em són més propers, especialment els relacionats amb la síntesi. Es continuarà encara treballant totes les qüestions al voltant de la síntesi asimètrica, basada fonamentalment en la separació d'estereoisòmers, la síntesi asimètrica per ella mateixa, l'ús de blocs quirals o l'ús d'enzims o transformacions microbianes. I tot això, per què? L'interès de la síntesi asimètrica és derivat dels aspectes farmacològics de molts compostos orgànics. La major part de fàrmacs són molècules orgàniques. Moltes d'elles poden existir en formes estereoisomèriques distintes, tant diastereoisomèriques com enantiomèriques. L'acció farmacològica pot ser fins

FIGURA 15
Talidomida



Captopril

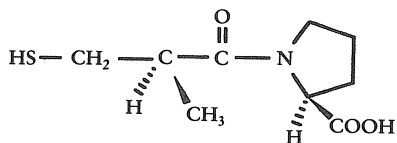
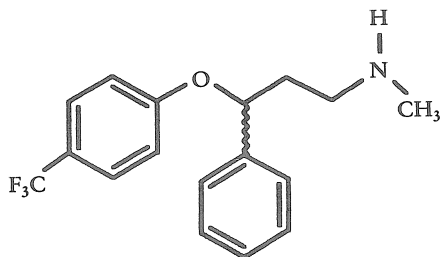


FIGURA 16
Fluoxetina
 (prozac)



Els dos enantiòmers R- i S- són farmacològicament equivalents, encara que l'enantiòmer S- s'elimina més lentament.

i tot diferent entre enantiòmers. Això es va fer palès tràgicament amb la talidomida. Quan es va prescriure la talidomida en forma racèmica, van haver-hi tots els problemes de malformacions, de naixements focomèlics, etc. perquè un dels enantiòmers era teratogènic, i en canvi l'altre no (encara que un isomeritza l'altre i hagués estat problemàtic també receptar un sol enantiòmer). Aquest fet demostra que s'han de provar exhaustivament la toxicologia, la teratogènia, etc. de tots els materials orgànics abans de ser emprats com a fàrmacs. En la fig. 15, a baix hi ha una molècula, una de les més venudes, almenys fins ara, com a inhibidor de l'enzim que converteix l'angiotensina, aquesta molècula és el captopril. Doncs bé, amb aquesta constitució existeixen quatre estereoisòmers possibles, i només un, l'SS, és farmacològicament actiu. Per tant, industrialment s'ha d'obtenir de manera selectiva aquest estereoisòmer, i això és un problema en què cada vegada ens trobarem més, en química orgànica i en química farmacològica: és a dir, com obtenir un sol enantiòmer perquè s'ha de prescriure un sol enantiòmer, no una barreja racèmica. Encara que a vegades aquesta qüestió de la separació dels dos enantiòmers no és tan important. Per exemple, aquesta molècula de la fig. 16 és el prozac, l'antidepressiu que a Amèrica tothom pren i jo diria que aquí també. Doncs bé, el prozac es ven, en forma racèmica, i tots dos són enantiòmers farmacològicament actius. En realitat, és una prodroga perquè la que realment és antidepressiva és l'amina un cop desmetilada. L'enantiòmer S s'elimina més lentament perquè es desmetila més lentament, per tant, és més actiu l'R. Tot i així s'ha provat que no són tòxics cap dels dos, per tant, és més econòmic comercialitzar la mescla racèmica que no pas un dels dos enantiòmers.

Tots els mètodes haguts i per haver per obtenir compostos enantiomèricament purs, no ja en els laboratoris, sinó en la indústria, s'haurien de desenvolupar amb força. Per exemple, en el cas del captopril, la manera com s'obté industrialment es reflecteix en la fig. 17. Es fa reaccionar l'àcid tioacètic amb l'àcid metil acrílic per obtenir una molècula racèmica que se separa després de fer els diastereòmers corresponents amb la L-prolina (fig. 17). Per tant, el mètode es basa en una separació de diastereòmers amb la corresponent pèrdua del 50 % de la matèria utilitzada. I això és així perquè «simplement» l'addició de Michael enantiotòpica sobre l'àcid metil acrílic encara no sabem com fer-la, i aquest seria un dels problemes que caldria estudiar, o sigui, com poder fer una reacció com aquesta enantioselectiva (fig. 18).

Evidentment hi ha condensacions aldòliques enantioselectives sobretot utilitzant auxiliars quirals, però em sembla que això no és l'objecte d'aquesta conferència i, per tant, no hi insistiré. De totes maneres com que demà ve el professor Sharpless, doncs, és clar, he de posar aquesta transparència, ja que aquest professor és el descobridor d'una de les síntesis enantioselectives més citada: la síntesi enantioselectiva d'oxirans o epòxids a partir d'alcohols al·lílics, utilitzant catalitzadors quirals, en aquest cas un catalitzador de titani modificat amb L- o D- tartrat de dimetil. L'oxigen de l'anell d'oxirà pot entrar per una cara o l'altra del doble enllaç en funció de l'auxiliar quiral emprat (fig. 19). Compte, que això que estic explicant no és aplicable solament al labo-

FIGURA 17

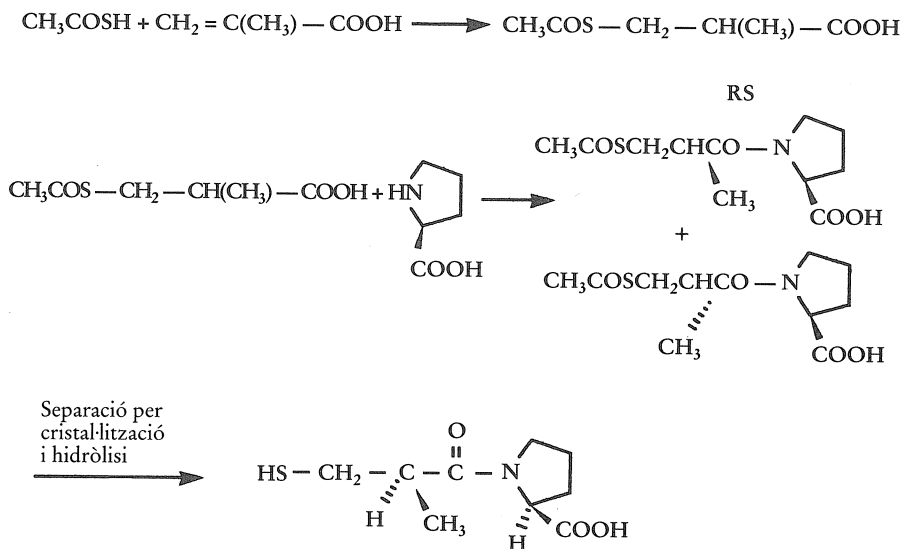
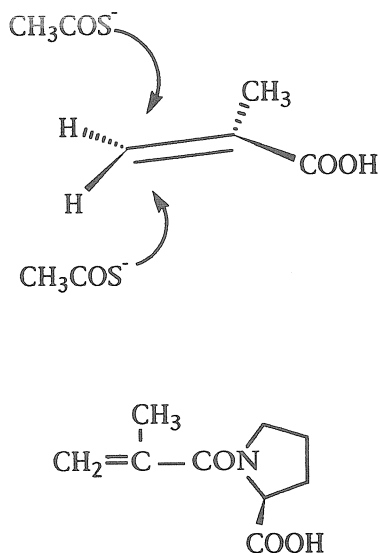


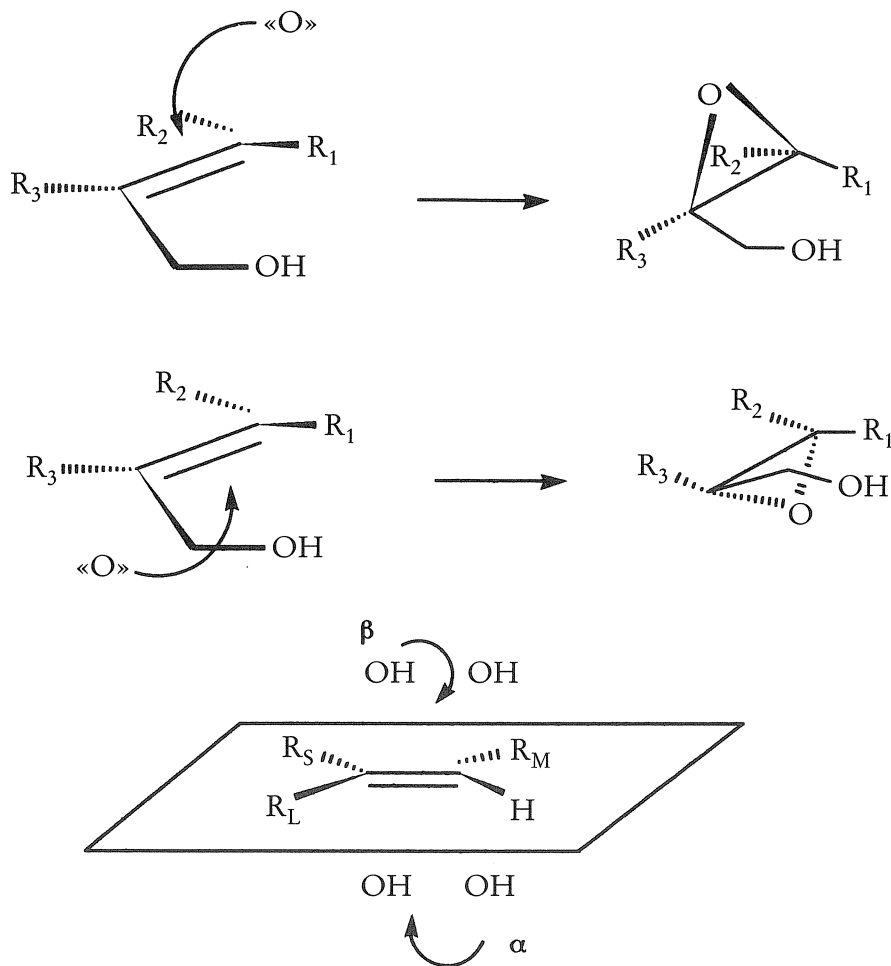
FIGURA 18



ratori, sinó que són mètodes aplicables industrialment. Per exemple, per preparar S-(-)-propanolol, que és un betabloquejant cardiovascular, s'utilitza el mètode de Sharpless, en aquest cas amb (-)-tartrat d'isopropil i tetraisopropòxid de titani (fig. 20). Observeu que en aquesta preparació fem ús també dels metalls, de la química organometal·lica. La utilització dels metalls en la síntesi orgànica serà també un dels temes que continuaran, crec jo, durant els propers deu, vint, trenta anys. I això per què? Doncs perquè els metalls són capaços de coordinar i mantenir estats de transició diastereoespecífics a partir dels quals hom obté la possibilitat de dirigir la síntesi selectivament cap a un enantiòmer. Aquest (vegeu el gràfic de la fig. 21), per exemple, seria l'estat de transició en l'epoxidació d'un alcohol al·lílic. Tots els metalls, especialment els de transició, hi són cridats a ser experimentats.

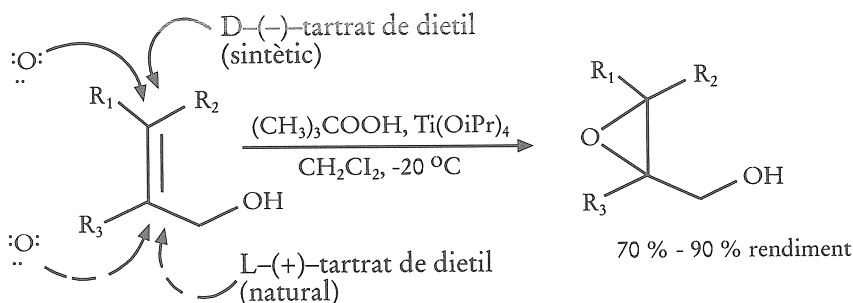
Continuant amb la química farmacèutica (fig. 22) veiem què ha passat amb els antibacterians al llarg del segle. Per exemple, de les sulfamides (en el gràfic es pot veure el sulfatiazole) d'abans de la guerra del 1939, es va passar, després de la guerra i a resultes dels treballs de Fleming, a l'ús de les penicil·lines. Les sulfamides són molècules de síntesi relativament fàcil i s'obtenen industrialment —a tones— mitjançant seqüències senzilles a partir de l'àcid *p*-aminobenzensulfònic. Les penicil·lines són molt més difícils de fer. L'obtenció d'aquestes molècules cau dintre de les grans síntesis. S'han sintetitzat moltes vegades en el laboratori i segons molts procediments diferents, les quals han

FIGURA 19



generat la química de les betalactames, però *de facto*, és a dir, des del punt de vista industrial, només es poden obtenir de manera rendible per fermentació, per fermentació a partir d'un fong adequat. Una de les raons d'haver de recaure en processos de fermentació (biotecnològics) és perquè hi ha molts centres quirals, i perquè l'anell de betalactama és difícil de fer. Quina ha estat l'estratègia? Doncs obtenir penicil·lines semisintètiques, és a dir, emprar un fong que pugui sintetitzar el 6-APA, i a partir d'aquí introduir cadenes laterals en forma de cadenes sintètiques i que modifiquin la penicil·lina inicial. A la figura s'ob-

FIGURA 20



serva la molècula de l'amoxicilina, la cadena lateral és sintètica, té un centre quiral i s'obté enantiomèricament pura.

Amb aquests plantejaments la indústria farmacèutica ha obtingut molts antibiòtics bé per fermentació (cefalosporines, eritromicina, altres macròlids, antraciclins, etc.) o bé per semisíntesi modificant les molècules inicialment obtingudes per biosíntesi. Ara, però, s'està fent un salt qualitatiu a favor de la síntesi orgànica. L'antibacterià potser més important actualment és la ciprofloxacina, que és una quinolona, concretament una fluoroquinolona, en aquest cas totalment sintètica, que no té centres estereogènics, i no és fàcil de fer, però s'obté industrialment a tones.

Un altre exemple clar de la incidència de la química orgànica en la salut és el relatiu a l'úlcera duodenal. Avui dia ja quasi no es dona la recessió d'aquesta malaltia per cirurgia. La primera substància efectiva va ser la cimetidina, que és una de les primeres molècules que fou dissenyada a mida com a antagonista d'un receptor. En aquest cas, el receptor H_2 de la histamina (fig. 23). Després es

FIGURA 21

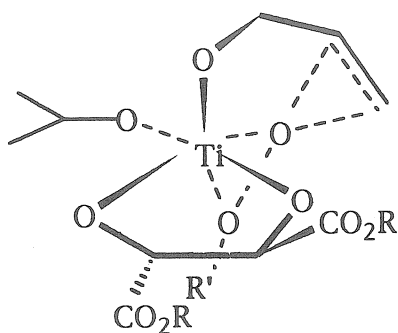
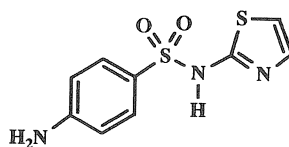
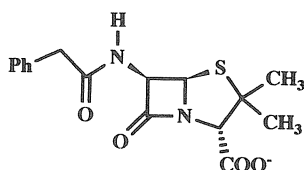


FIGURA 22
Antibacterians

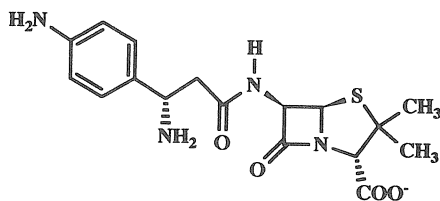
1. Sulfamides: sulfatiazole



2. Penicil·lines



3. Penicil·lines semisintètiques: amoxicilina



4. Quinolones: ciprofloxacina

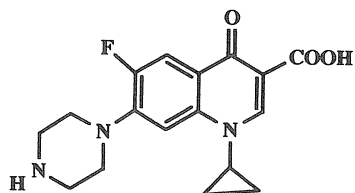
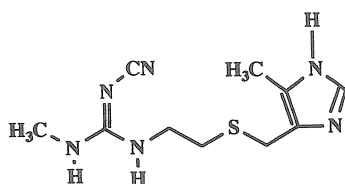


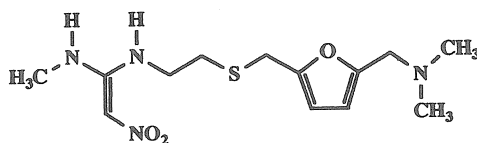
FIGURA 23
Ulcus

1. Cirurgia

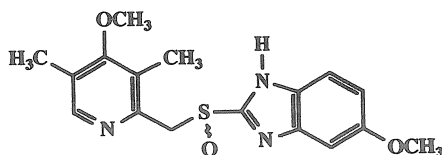
2. Cimetidina:



3. Ranitidina:



4. Omeprazol:

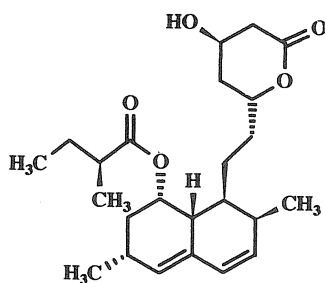


va passar a la ranitidina, que d'alguna manera s'assembla a la cimetidina, té grups farmacològicament equivalents, es manté la cadena de sofre, amb el pont de metilè i d'etilè. Nogensmenys, l'òptica de curació farmacològica ha evolucionat i ara ja tenim l'omeprazol i tots els seus derivats que actuen sobre la bomba de protons, que rebaixen l'acidesa de l'entorn i provoquen la recessió de l'ulcus. En aquest cas, la molècula també és un racèmic perquè el grup sulfòxid és quiral. No obstant això, es prescriu el racèmic. Amb tot aquest arsenal de fàr-

macs i el descobriment recent que moltes úlceres són provocades per un bacteri (*Helicobacter pylori*) i que aquest pot ser eradicat amb amoxicilina, hom pot entendre que els cirurgians d'estómac (digestius) hagin hagut de canviar de feina.

El *pull* de la societat i en aquest cas de les indústries farmacèutiques multinacionals és un *pull* molt important, i per posar ja un últim exemple d'això voldria fer esment de l'estatina, que també és un metabòlit fúngic, que inhibeix la 3-hidroxi-3-metilglutaril reductasa, pas inicial en la generació del colesterol. Per tant, és un antihipercolesterolemiant (fig. 24). En aquesta molècula hi ha molts centres quirals, és una molècula complexa, difícil de sintetitzar, però mitjançant la fermentació biotecnològica s'obté amb relativa facilitat. I encara

FIGURA 24

Lobastatina

Metabòlit fúngic, inhibidor de la HMG — CoA reductasa
antihipercolesteròlic

Fluvastatina

(Sandoz)

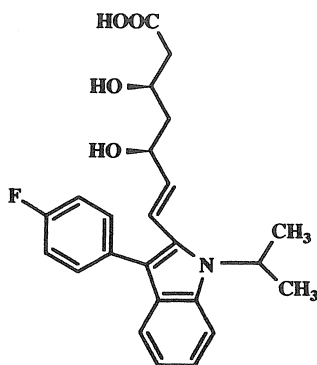


FIGURA 25
Biotecnologia

Gionatropina coriònica humana
(hormona hipofisària d'origen humà)

Gonadorelina
(estimulant de la FSH i la LH)

FSH
(purificada a partir de gonadotrofina menopàusica)

Interfon- β
(glicoproteïna)

Factor VIII

Vacunes
(p. ex., hepatitis B)

Hormones peptídiques
(p. ex., insulina B)

Factor necròtic dels tumors (TNF)
(BASF, mediador del sistema immunològic)

Soja transgènica

Porcs transgènics

més, un es té el cap de sèrie, de seguida sorgeixen anàlegs. En aquest cas és un anàleg sintètic, la fluvastina de Sandoz (Novartis), indicada en la figura, és la molècula que s'està comercialitzant ara amb més força.

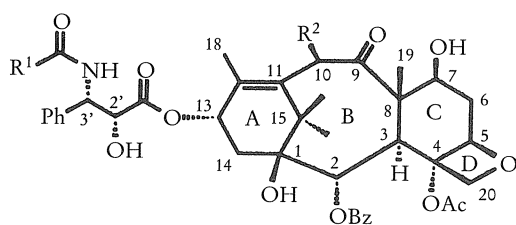
Per últim i molt ràpidament, un camp en el qual segurament s'avançarà molt és el de la neuroquímica. Els estudis bàsics sobre neurotransmissors i els seus receptors, així com els mecanismes de la sinapsi i com a resultat els fàrmacs que puguin sortir d'aquest estudi científic, seran aspectes dominants en la química orgànica farmacològica dels propers anys.

De la biotecnologia ja n'hem parlat suficientment, però cal recordar que,

per exemple, la fecundació in vitro en realitat avui és possible perquè hi ha tota una sèrie de fàrmacs que la fan possible; fàrmacs que s'obtenen per tècniques biotecnològiques fent ús de l'enginyeria genètica. A la fig. 25 es veuen tota una sèrie de fàrmacs, tant els utilitzats en la fecundació in vitro com d'altres que són emprats en diferents malalties o deficiències genètiques. Així mateix, hem fet una llista d'organismes vius transgènics: evidentment la química orgànica no ha estat la ciència que els ha desenvolupat, però sí que ha contribuït a fer-ho possible des de l'entorn de l'enginyeria genètica.

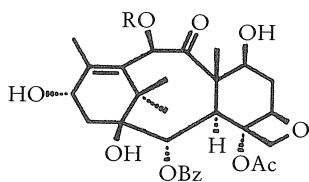
Com a resum paradigmàtic del que es pot fer en síntesi orgànica —o millor dit del que es fa ara— deixeu-me exposar el cas del taxol. El taxol s'aïlla de

FIGURA 26



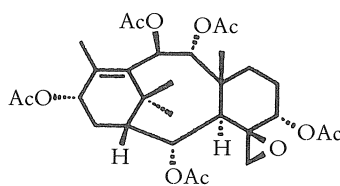
1: Taxol, $R^1 = \text{Ph}$, $R^2 = \text{OAc}$

2: Taxorete, $R^1 = t\text{BuO}$, $R^2 = \text{OH}$

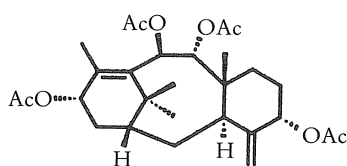


3: 10-Deacetylbaccatin III, $R = \text{H}$

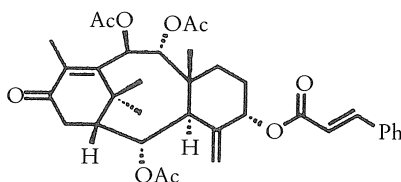
4: Baccatin III, $R = \text{Ac}$



5: Baccatin I

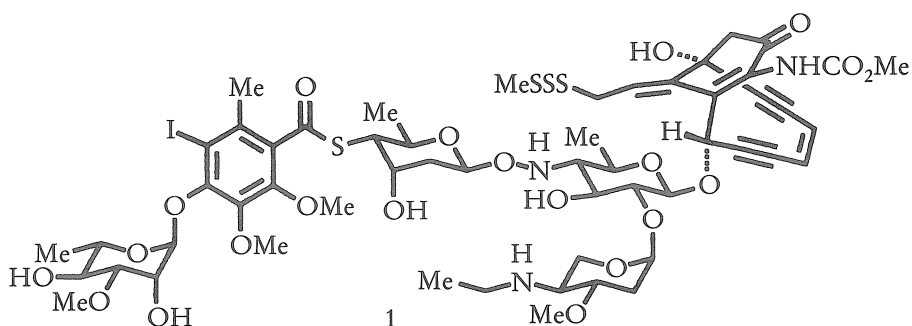


6: Taxusin

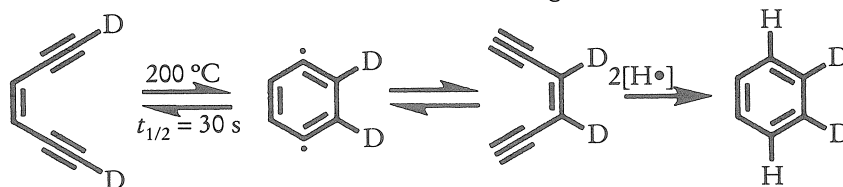


7: Taxinine

FIGURA 27
Calicheamicina

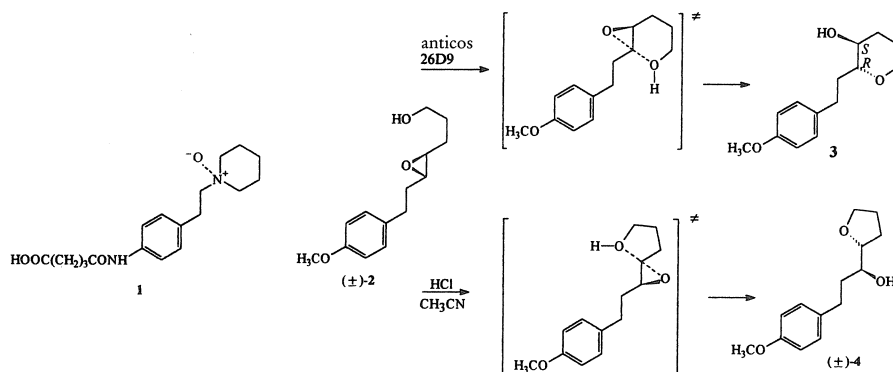


Cicloaromatització de Bergman



l'escorça d'un arbre fa uns vint anys, s'elucidà la seva estructura, i es va reconèixer la seva elevada activitat anticancerosa, és química orgànica clàssica. Després d'un treball intens s'aconsegueix la síntesi total en el laboratori, uns trenta passos, tant pel grup de K. C. Nicolau, com pel grup de Holton. Com ja sabeu és una substància que va molt bé per als tumors ovàrics i de mama sobretot (fig. 26). Però ecològicament no es pot basar la seva producció industrial tallant incontroladament especíimens de *Taxus brevifolia*. Ni industrialment pot obtenir-se mitjançant síntesis acadèmicament impecables, però llarguíssimes i de rendiment total baixíssim. Què han fet els químics? Doncs han descobert que hi havia un precursor del taxol en les fulles del *Taxus baccata* que és un teix europeu, extreuen a gran tonatge aquest precursor (la 10-desacetil-baccatina) i a continuació modifiquen la molècula afegint-hi l'apèndix que hi falta, que per cert és un apèndix amb dos centres quirals, que se sintetitza a part per mètodes convencionals moderns i per semisíntesi es produeix finalment el taxol, o anàlegs. Aquest tipus de química crec que és la que es continuarà fent en els propers anys (fig. 27). Per exemple, el que es fa al voltant del també antican-

FIGURA 28



cerós calicheamicina té les mateixes característiques. S'ha sintetitzat en el laboratori i s'ha descobert que el sistema d'eudió és el que actua farmacològicament a través de la reacció que ja havia descobert Bergman l'any 1972. El sistema d'eudió se cicla en un benzè diradicalari i aquest diradical és el que pot fer els talls en el DNA. Ara s'estan sintetitzant anàlegs més simples que continguin també un sistema de doble enllaç doblement conjugat amb acetilens.

Un aspecte que no voldria deixar de banda és l'ús de mètodes informàtics per dissenyar síntesis racionals. Fins ara hem vist que és la intuïció i l'art de cada investigador el que dissenya i obre camins de síntesi. Però és possible, encara que ho veig una mica estancat, que els treballs de Corey i d'altres, donin finalment fruit i no faci falta l'anàlisi retrosintètica de la ment humana.

A banda del cultiu cel·lular per obtenir metabòlits secundaris de manera més directa, un altre camp important que pot tenir un impacte profund en la síntesi és el tema dels anticossos catalítics. Com sabeu els anticossos catalítics són cèl·lules de la melsa, que s'ajunten, se simbiotitzen o s'amalgamen amb cèl·lules canceroses perquè siguin eternes. Aquestes cèl·lules es cultiven davant d'un antigen, queden especialitzades en un determinat tipus de reacció i aleshores es poden utilitzar *a posteriori* per catalitzar reaccions que tinguin un estat de transició similar al que han estat forçades a fer. Això dit molt curt i amb quatre paraules. En la fig. 28, per exemple, es veuen uns anticossos creats davant d'aquest haptè lligat a una proteïna (antigen), que és un N-òxid d'amina. Un cop desenvolupats, aquests anticossos són capaços de catalitzar la reacció de substitució intramolecular de l'hidroxièpòxid per donar un tetrahidropirà, perquè l'estat de transició d'aquesta reacció és paral·lel a l'N-òxid d'amina. L'atac alternatiu que donaria un tetrahidrofurà queda obviat, a pesar que aquest atac és el normal en medi àcid.

Abans he parlat de la química combinatòria. La química combinatòria s'ha desenvolupat per fer tests ràpids de substàncies actives; aquesta tècnica és molt recent i suposo que portarà molta cua. Es basa, molt ràpidament, en el següent: imagineu-vos un polímer funcionalitzat del tipus Merrifield, o sigui, en forma de perles, les quals se separen en tres matrassos, i en cada una d'aquestes fraccions s'hi penja químicament la substància A, la B, i la C respectivament. Aleshores, enlloc de continuar seqüencialment la síntesi en cada un d'aquest conjunt de perles, el que es fa és barrejar-les un altre cop, la qual cosa sembla una bestiesa que a ningú se li acudiria (fig. 29). Doncs bé, es barregen, i la barreja es torna a separar, per exemple, en quatre matrassos, i en cada fracció s'hi fixa D, E, F i G respectivament, per tant, ja tenim les perles que tenen AD, BD, CD, AE, BE, CE... i així successivament. Les perles es tornen a ajuntar i es tornen a separar, per exemple en dos, i ara s'hi fixa H i I, el resultat consisteix en el fet que tenim vint-i-quatre compostos fixats en les perles polimèriques només amb nou reaccions. Si aquesta seqüència s'ha fet per obtenir la variant més activa de les combinacions entre A, B, C, D, E, F, G, H i I, la pregunta és com identificar la perla que conté aquesta combinació. Hi ha tota una sèrie d'estudis per identificar la perla que conté la seqüència més activa, amb tests de tipus Elisa, assaigs immunològics, o amb tests de fluorescència de colors, o posant-hi etiquetes de

FIGURA 29

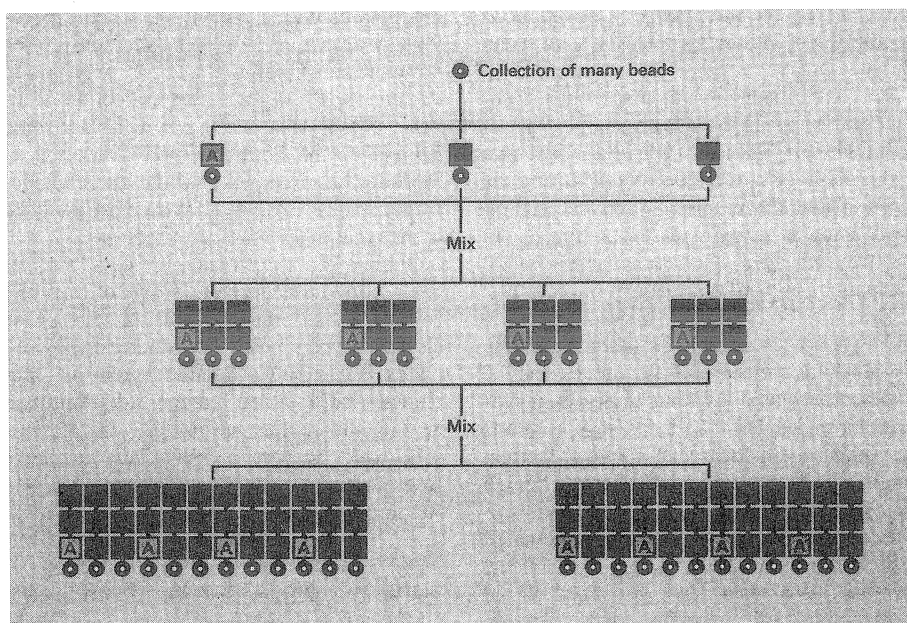


FIGURA 30

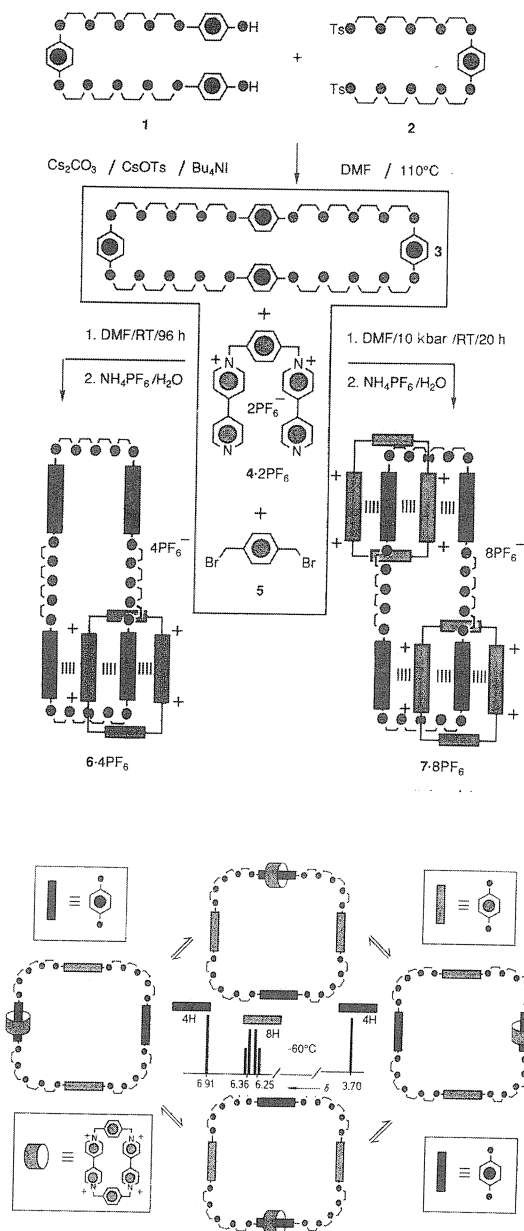
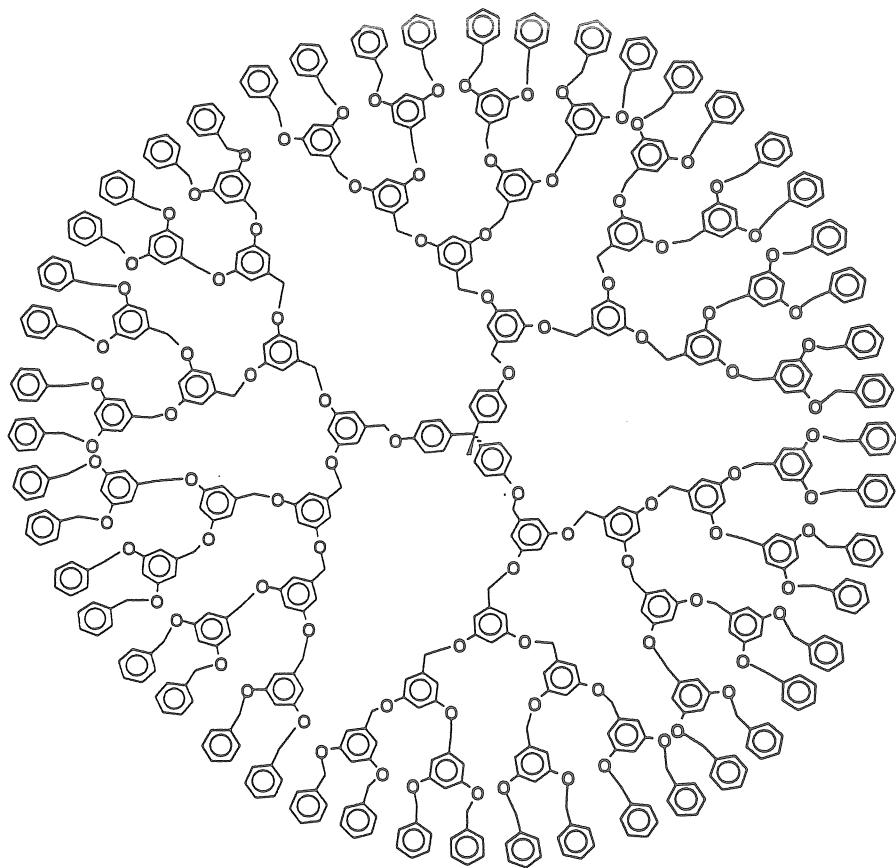


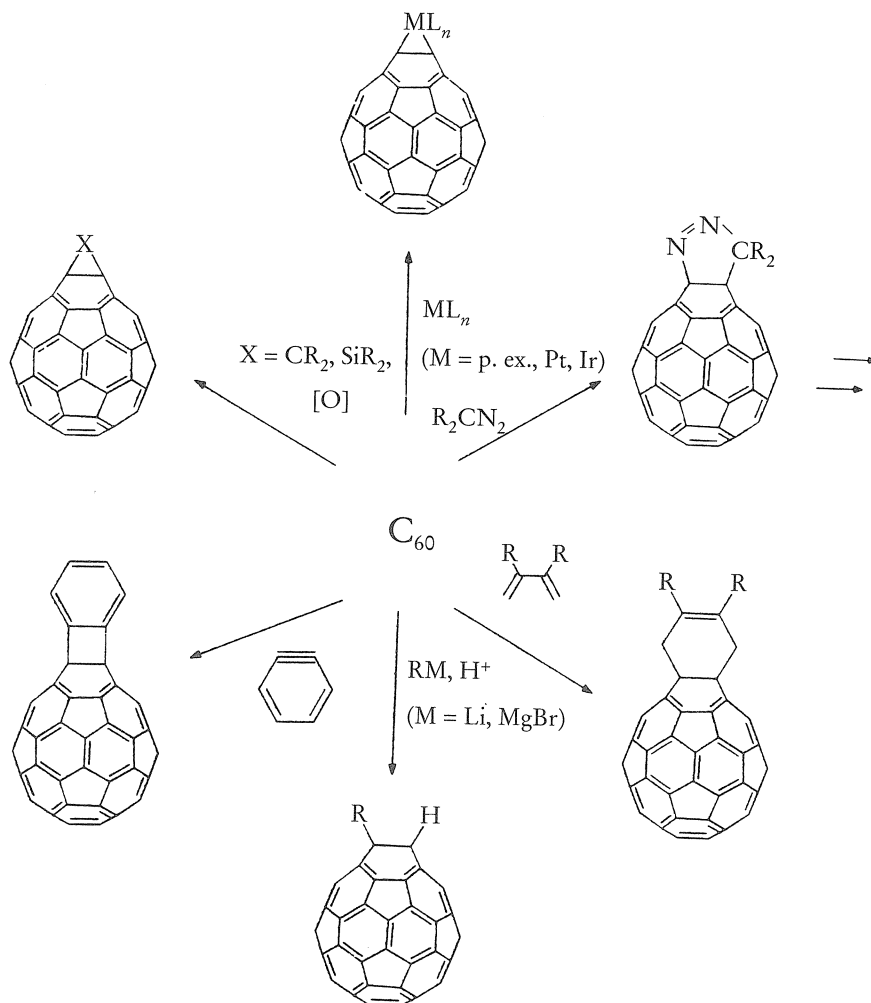
FIGURA 31



manera que les puguis identificar. Hi ha molta feina feta ja, i es pot saber quina és la perla que conté la substància que és activa davant d'un determinat enzim o receptor. Un cop això conegut, saps quina és la substància que has de sintetitzar en quantitats de multigram. Aquest tipus d'aproximació serà molt important per a la síntesi de sèries de substàncies amb possible activitat farmacològica.

Vull fer esment ara del reconeixement molecular. A part de tot el que ha fet Lehn, deixeu-me mostrar només una transparència (fig. 30) d'aquests xips moleculars que fabrica el professor Stoddart. Aquests xips es basen en catenans obtinguts mitjançant molècules ben simples de tipus bipyridina o bifenols. L'autoassemblatge de catenans l'ha aconseguit Stoddart, i tots els que l'hem escoltat ja sabem que es podrien fer bellugar aquestes anelles enfilades

FIGURA 32



dins dels polímers i parar-se en cada una de les estacions com si fos un metro que corre: segons si estigués en una estació o en una altra, la resposta electrònica podria ser similar a un sí o un no, o a un zero o un u, i, per tant, tindriem la possibilitat de generar xips moleculars d'enorme potencialitat en informàtica. Això és a les beceroles, però és possible que al voltant d'aquestes hipòtesis hi veiem molta química.

O per exemple aquest camp dels dendrímers o arborols (fig. 31). Són aquestes molècules que es van diversificant entorn d'un nucli inicial, són bastant fàcils de fer. En aquests moments hi ha empreses multinacionals, la DSM d'Holanda, per exemple, que ofereixen aquest tipus de substàncies a d'altres companyies (empreses farmacèutiques) per veure quina utilitat pràctica se'ls hi pot trobar perquè en tenen tones i no saben què fer-ne, no saben per a què utilitzar-ho. Això és un cas típic de molècules que s'han sintetitzat abans de saber què es pot fer amb ells, potser microcapsulacions, liposomes, etc. per a l'ús en cosmètica...

I per acabar la part química, no seria cortès si no esmentés la molècula per la qual s'ha donat el Premi Nobel aquest any: el ful·lerè, el C_{60} , la pilota de futbol, el *buckminster fullerè*, que se li va donar aquest nom per la cúpula que l'arquitecte Buckminsterfuller va construir, l'any 1967, a l'Expo de Montreal (fig. 32). Ambdues tenen la mateixa estructura esfèrica, i per això han de repartir anells de sis i de cinc, fins a deixar els seixanta punts (àtoms de carboni) distribuïts esfèricament en l'espai. La reactivitat del C_{60} és ben especial, però tampoc no se sap gaire què se'n farà. Hi ha molts articles, hi ha molta química al voltant del ful·lerè, però de moment d'aplicació pràctica no n'hi ha cap.

FIGURA 33
Evolució del sistema universitari català produïda en els darrers anys

	1985	1995
Universitats	3	9
Titulacions	35	109
Estudis (titulacions/centre)	53	330
Alumnes 1r i 2n cicle	115.430	162.832
Alumnes 3r cicle	4.628 ¹	7.778
Professorat	6.212	11.199
PAS	2.297	4.973
Subvenció corrent ²	227.867,9 MP	57.874,3 MP

Inclou només estudis homologats.

No inclou personal docent i PAS dels centres adscrits ni PAS URL.

1. Dades corresponents al curs 1989-1990.

2. En pessetes constants de 1995.

FIGURA 34
Calendari d'aplicació de la reforma

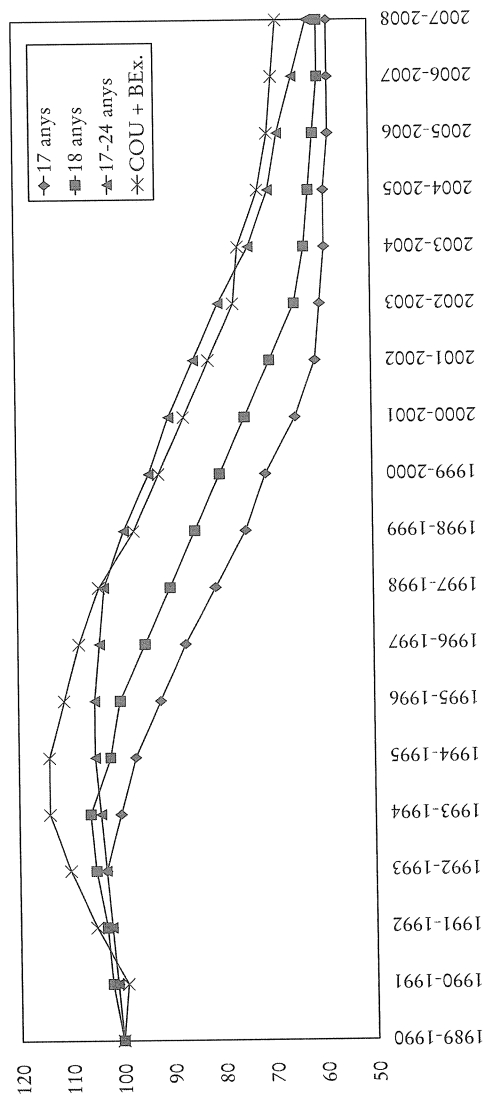
<i>curs/edat</i>	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1994-1995	5è prim.	6è EGB	7è EGB	8è EGB	1r BUP 1r PF1	2n BUP 2n PF1	3r BUP 1r PF2	COU 2n PF2	3r FP2
1995-1996	5è prim.	6è prim.	7è EGB	8è EGB	1r BUP 1r PF1	2n BUP 2n PF1	3r BUP 1r PF2	COU 2n PF2	3r FP2
1996-1997	5è prim.	6è prim.	1r ESO	8è EGB	1r BUP 1r PF1	2n BUP 2n PF1	3r BUP 1r PF2	COU 2n PF2	3r FP2
1997-1998	5è prim.	6è prim.	1r ESO	2r ESO	1r BUP 1r PF1	2n BUP 2n PF1	3r BUP 1r PF2	COU 2n PF2	3r FP2
1998-1999	5è prim.	6è prim.	1r ESO	2r ESO	3r ESO	2n BUP 2n PF1	1r btx. MP2	COU 2n PF2	3r FP2
1999-2000	5è prim.	6è prim.	1r ESO	2r ESO	3r ESO	4t ESO	1r btx. MP2	2n btx.	3r FP2
2000-2001	5è prim.	6è prim.	1r ESO	2r ESO	3r ESO	4t ESO	1r btx. MP2	2n btx.	MP3

EL FUTUR DE LA QUÍMICA ORGÀNICA A CATALUNYA

Ara, si em permeteu, ja he acabat la part científica. I jo no sé si això dóna una visió del que podrà ser la química orgànica o no en el futur. Però ara voldria dir algunes paraules sobre com podrà ser la química orgànica a Catalunya, què ens espera. Molt ràpidament, i això no és propaganda política, l'evolució del sistema universitari català ha estat vertiginosa en els últims deu anys (fig. 33). Hem passat de tres universitats a nou, de trenta-cinc titulacions a cent nou, de cent quinze mil estudiants a cent seixanta-dos mil a les universitats públiques (uns dos-cents mil si comptem els centres privats), i de vint-i-dos mil milions de pessetes a cinquanta-vuit mil o seixanta mil milions de pessetes pel que fa a la subvenció pública. Sembla que tot això sigui meravellós, però per als químics en general, això què representa? En primer lloc, igual com he dit abans amb el carboni, tindrem material per treballar? Tindrem alumnes? Aquesta és la primera pregunta (fig. 34). Vosaltres ja sabeu que hi ha en marxa una reforma dels ensenyaments secundaris que es diu ESO i batxillerat (LOGSE) i que desapareix el COU. Probablement això vol dir que el 2000 o el 2001 ja ens entraran de manera total els alumnes procedents de tota aquesta reforma. I això què vol dir? Vol dir que no hauran fet el COU, vol dir que hauran fet molta

FIGURA 35

Taxa d'escolarització al darrer curs de secundària. Estable al llarg dels diferents cursos sobre els quals es fan previsions
 Estudis professionals vs. preuniversitaris. S'arriba a una distribució del 75 % d'alumnes matriculats en estudis de tipus pre-
 universitari, enfront d'un 25 % cursant estudis de tipus professional. És a dir, partint d'uns valors actuals situats en el 71,8 %
 i el 28,2 % respectivament, s'arriba al valor objectiu esmentat al curs 2002-2003. Població i matrícula últim curs de secundària
 (índex 100' 1989-1990).



Demanda total per vies d'accés
Projecció (1996-2009). Àrea territorial Catalunya. Totes les universitats

VIES	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
Via 0	35.884	34.123	32.207	30.156	27.810	26.083	24.808	23.932	22.576	21.487	20.774	20.438	20.126
Via 4	6.993	6.556	5.902	5.184	295								
Altres vies	15.127	14.485	14.497	14.116	12.805	12.604	12.550	12.575	12.510	12.447	12.452	12.530	12.617
Total Catalunya	57.964	55.524	52.606	49.456	40.910	38.687	37.358	36.507	35.086	33.934	33.226	32.968	32.743

FIGURA 36

Ll. en química

	<i>Evolució de l'oferta</i>					<i>Evolució de la demanda</i>				
<i>Universitat</i>	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97
<i>UB</i>	475	450	400	400	400	569	498	487	440	482
<i>UAB</i>	152	160	160	160	160	224	178	183	215	156
<i>UdG</i>	100	100	100	100	100	53	57	65	73	111
<i>URV</i>	150	150	150	150	150	103	63	66	106	142
	877	860	810	810	810	949	796	771	834	891

Ll. en biologia

	<i>Evolució de l'oferta</i>					<i>Evolució de la demanda</i>				
<i>Universitat</i>	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97
<i>UB</i>	550	475	450	425	405	512	604	820	846	716
<i>UAB</i>	300	280	280	280	280	193	271	333	411	375
<i>UdG</i>	100	125	125	125	125	63	98	113	182	190
	950	880	855	830	810	768	973	1.266	1.439	1.281

Ll. en matemàtiques

	<i>Evolució de l'oferta</i>					<i>Evolució de la demanda</i>				
<i>Universitat</i>	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97
<i>UB</i>	275	275	300	310	300	162	175	258	210	231
<i>UAB</i>	125	100	100	105	105	107	152	133	158	87
<i>UPC</i>	50	50	50	50	50	94	125	123	107	147
	450	425	450	465	455	363	452	514	475	465

matèria optativa, molt «macramé», i no sé pas la quantitat de química que sabran, jo penso que molt poqueta. Però és que a més del fet que en sabran molt poca, resulta que els que tindran divuit anys l'any 2008, que ja han nascut el 1990, seran també poquets. La cohort de disset anys serà aproximadament el 55 % del que era uns quants anys enrere, com es veu en el gràfic. I això, quan ho passeu a xifres absolutes, vol dir que fa poc a Catalunya naixien cent cinc mil persones i ara en neixen escassament cinquanta-sis mil, i aquestes cinquanta-sis mil s'han estancat (fig. 35). Quan això es projecta en els alumnes amb re-

quisits per entrar a la universitat la corba baixa en picat, i ja hem començat a notar-ho. Per tant, si a Catalunya en aquest moment entren en el sistema universitari trenta-sis mil nous estudiants, el 2008 n'hi entrarien divuit mil. Bé podreu dir que n'entraran més, perquè si ara accedeixen a la vora d'un 30 % de la cohort, els que voldran estudiar augmentarà, i a la vegada és possible que els requisits d'entrada siguin més laxos a causa de la reforma i, a part, no estem segurs que es mantingui el sistema actual de proves de selectivitat. En el supòsit que s'obris una mica més la vàlvula, obtindríem corbes lleugerament diferents, havent-se calculat que el nombre d'entrada d'estudiants podria augmentar fins a vint-i-dos mil l'any 2008. En definitiva, baixem d'estudiants i això vol dir que sobrarem professors, és una possibilitat, potser vol dir que els professors treballarem millor perquè tindrem menys alumnes. Això està passant ja ara, en la fig. 36 es veu l'evolució de l'oferta de places de química a les universitats catalanes: Barcelona, l'Autònoma, Girona i Rovira i Virgili, vuit-centes deu places. De moment sembla que anem bé perquè l'any passat en primera opció van haver-hi vuit-centes trenta-quatre demandes, i aquest any fins i tot vuit-centes noranta-una, o sigui que sembla que això de la química als estudiants els agra-

FIGURA 37
Crèdits troncal de química orgànica a les diferents titulacions

<i>Titulacions</i>	<i>Crèdits</i>
Biologia	5
Ciències ambientals	—
Geologia	9
Química	15
Bioquímica	—
Dietètica i alimentació	—
Farmàcia	20
Veterinària	4
Ciència i tecnologia dels aliments	—
Medicina	—
E. t. agrícola	10
E. t. industrial, química industrial	6
E. industrial	6
E. química	6

da. En detriment pot ser de la biologia, perquè la biologia que havia anat pujant, aquest any ha baixat. No sé si per l'evolució demogràfica o si perquè resulta que els agrada més la química que la biologia. Això és una dada que s'ha

FIGURA 38
Detall professorat químiques curs 1995-1996

Àrea de coneixement	Universitats	COS							
		CU	CEU	TU	TEU	AJU.	ASS.	VIS.	TOT
750	UB	6	0	18	0	8	3	0	35
	UAB	4	0	7	1	7	4	1	24
	UPC	1	0	4	5	0	0	0	10
	UdG	0	0	2	0	5	3	0	10
	UdL	0	0	0	0	0	2	0	2
	URV	1	1	5	2	2	3	0	14
<i>Total: Química analítica</i>		12	1	36	8	22	15	1	95
755	UB	10	0	41	0	3	9	0	63
	UAB	4	0	7	1	7	3	0	22
	UPC	0	0	2	1	0	0	0	3
	UdG	2	1	2	0	2	0	0	6
	UdL	0	0	1	1	0	1	1	5
	URV	1	1	6	0	2	2	0	11
<i>Total: Química física</i>		17	1	59	3	14	15	1	110
760	UB	6	0	24	0	5	7	0	39
	UAB	4	0	8	0	7	0	0	19
	UPC	0	0	0	0	0	0	0	0
	UdG	0	0	2	0	4	0	0	6
	UdL	0	0	0	0	0	0	0	0
	URV	1	0	4	1	3	3	0	12
<i>Total: Química inorgànica</i>		11	0	38	1	19	7	0	6
765	UB	11	0	34	0	9	6	0	60
	UAB	7	0	4	0	8	1	1	21
	UPC	0	1	0	5	0	0	0	6
	UdG	0	0	3	0	2	1	0	6
	UdL	0	0	1	1	0	1	0	3
	URV	2	0	4	1	2	3	0	12
<i>Total: Química orgànica</i>		20	1	46	7	21	12	1	108
<i>Total química</i>		60	3	179	19	76	49	3	389

FIGURA 39
Detall becaris (DGR) químiques any 1997

<i>Àrea de coneixement</i>	<i>Universitats</i>	<i>Nombre becaris</i>
555	UB	0
	UAB	5
	UPC	1
	UdG	1
	UdL	0
	URV	4
<i>Total: Enginyeria química</i>		11
750	UB	4
	UAB	7
	UPC	0
	UdG	0
	UdL	0
	URV	1
<i>Total: Química analítica</i>		12
755	UB	10
	UAB	2
	UPC	0
	UdG	4
	UdL	0
	URV	1
<i>Total: Química física</i>		17
760	UB	17
	UAB	5
	UPC	0
	UdG	3
	UdL	0
	URV	2
<i>Total: Química inorgànica</i>		27
765	UB	11
	UAB	9
	UPC	0
	UdG	0
	UdL	0
	URV	2
<i>Total: Química orgànica</i>		22
<i>Total química</i>		78

FIGURA 40
Detall treballs publicats curs 1994-1995

<i>Universitat</i>	<i>Departament</i>	<i>Treballs</i>
UB	Química física	254
	Química orgànica	
	Química inorgànica	
	Química analítica	
	Farmacologia i química terapèutica	
UAB	Química	153
UPC	Enginyeria química	143
UdG	Química	95
UdL	Química	22
URV	Química	48

de tenir en compte. De totes maneres vull apuntar que a l'Autònoma de dos-cents i escaig que ho demanaven, ha baixat a cent cinquanta-sis en primera opció. En matemàtiques veieu que la demanda també ha anat baixant, i probablement aquesta tendència seguirà l'evolució demogràfica, ja que matemàtiques és una titulació més vocacional i els que la demanen dins de cada generació deu ser un grup més fix, per tant sembla que hi ha una evolució a la baixa. Curiosament a l'Autònoma s'ha passat de cent cinquanta-vuit a vuitanta-set, de manera que quan hi ha la davallada el que primer pateix és l'Autònoma. Avís de navegants. També em sembla que els orgànics hem deixat algunes titulacions al marge, o almenys no ens hi hem posat gaire, això es veu, per exemple (fig. 37), en els crèdits troncal: la biologia té només cinc crèdits troncal d'orgànica,

FIGURA 41
Plantilla de professorat de la UB

<i>Categoria</i>	<i>Nombre</i>
CU	458
TU	1.252
CEU	59
TEU	326
TU _i	56
TEU _i	139
Ajudants	292
Associats	1.172

FIGURA 42
Jubilacions UB

<i>Any</i>	<i>Total</i>
1998	18
1999	15
2000	14
2001	18
2002	18
2003	16
2004	17
2005	34
2006	25
2007	30
2008	24
2009	18
2010	43
2011	47
2012	60
2013	65
2014	68
2015	59
2016	88
2017	100
2018	92
2019	105
2020	107

FIGURA 43
Jubilacions UAB

<i>Any</i>	<i>Total</i>
1997	3
1998	6
1999	6
2000	11
2001	4
2002	16
2003	8
2004	16
2005	14
2006	17
2007	19
2008	16
2009	13
2010	36
2011	26
2012	35
2013	31
2014	45
2015	49
2016	40
2017	47
2018	45
2019	52
2020	51

ciències ambientals no en té cap, la geologia nou, la química en té quinze, la bioquímica no en té cap, la dietètica i alimentació no en té cap, la farmàcia en té més que la química, la ciència i tecnologia dels aliments no en té cap, etc. Ho dic perquè jo no sé si ha quedat gaire clar en la meua explicació, però la química orgànica és fronterera amb moltes ciències, hauríem de conquerir-les, per dir-ho així, i és possible que ens vingui un reflux, que siguin els altres que expliquin la química que nosaltres hauríem d'explicar. És possible.

A la figura es veu el professorat de química en les seves diferents àrees existents en les universitats catalanes. Com es distribueixen els orgànics? De manera molt diferent. A la Universitat de Barcelona són seixanta en total, a l'Autònoma vint-i-un, a Girona són sis, a Lleida no hi ha químiques però són

FIGURA 44
Evolució del sector químic per subsectors (1993-1994)
(milions de pessetes)

<i>Subsectors</i>	<i>Importació</i>			<i>Exportació</i>		
	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>% var.</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>% var.</i>
Inorgànica	99.369	123.043	23,8	41.760	53.220	27,4
Orgànica	316.841	420.711	32,8	153.601	199.279	29,7
Prim. mat. plàstiques	137.766	192.898	40,0	103.671	147.903	42,7
Cautxú i làtex	37.830	50.809	34,3	3.138	3.850	22,7
Química bàsica	591.806	736.652	33,1	302.170	404.252	33,8
Adobs	28.372	44.360	56,4	14.080	19.103	35,7
Plaguicides	21.555	29.556	37,1	6.995	8.834	26,3
Agroquímica	49.927	73.916	48,0	21.075	27.937	32,6
Matèries primeres	70.430	80.681	14,6	55.982	67.619	20,8
Especialitats	113.026	157.537	39,4	44.870	71.804	60,0
Farmaquímica	183.456	238.218	29,9	100.852	139.423	38,2
Fibres artificials	11.784	14.156	20,1	6.401	8.935	39,6
Fibres sintètiques	35.859	57.050	59,1	18.363	34.000	85,2
Fibres sintètiques	47.643	71.206	49,5	24.764	42.935	73,4
Pastes	26.495	49.853	88,2	8.575	42.675	39,7
Paper	177.508	227.123	28,0	71.769	89.558	24,8
Pastes i paper	204.003	276.976	35,8	80.344	132.233	64,6
Sabons i detergents	9.950	10.017	0,7	11.385	20.036	76,0
Olis essencials i perfumeria	64.964	87.197	34,2	38.090	49.533	30,0
Transformat de cautxú	102.989	139.343	35,3	139.015	181.790	30,8
Pintures, vernissos i tints	27.642	37.425	35,4	13.363	19.562	46,4
Material fotogràfic	40.652	45.979	13,1	11.922	14.485	21,5
Colorants, pigments i curtits	46.724	63.706	36,3	57.596	69.965	21,5
Hidrats de carboni i adhesius	27.940	34.954	25,1	12.151	15.669	29,0
Transformat de plàstic	137.462	178.158	29,6	81.922	110.863	35,3
Altres	39.175	46.577	18,9	23.317	26.578	14,0
Química transform.	497.498	643.356	29,3	388.761	508.481	30,8
Total	1.574.333	2.040.324	32,8	917.966	1.255.261	36,7

tres, a l'àrea d'enginyeria agrònoma, i a la Rovira i Virgili són dotze. Un cas curiós és que a Girona només siguin sis. A continuació exposaré algunes transparències sobre l'estructura del professorat, per exemple de la Universitat de Barcelona, on hi ha quatre-cents cinquanta-vuit catedràtics, mil tres-cents titu-

FIGURA 45
Evolució del sector químic per subsectors (1993-1994)
(milions de pessetes)

Subsectors	Producció			Consum aparent		
	1993	1994	% Var.	1993	1994	% Var.
Inorgànica	201.100	224.650	11,7	258.709	294.473	123,8
Orgànica	330.330	446.725	35,2	493.570	668.157	35,4
Prim. mat. plàstiques	258.500	351.500	36,0	292.595	396.495	35,4
Cautxú i làtex	13.700	16.175	18,1	48.392	63.134	30,5
Química bàsica	803.630	1.022.875	29,3	1.093.266	1.422.259	30,1
Adobs	70.920	92.000	29,7	85.212	117.257	37,6
Plaguicides	73.460	85.870	16,9	88.020	106.592	21,1
Agroquímica	144.380	177.870	23,2	173.232	223.849	29,2
Matèries primeres	190.500	202.300	6,2	204.948	215.362	5,1
Especialitats	748.500	779.950	4,2	816.656	865.683	6,0
Farmaquímica	939.000	982.250	4,6	1.021.604	1.081.045	5,8
Fibres artificials	1.500	4.200	180,0	6.883	9.421	36,9
Fibres sintètiques	69.069	81.300	17,7	86.556	104.350	20,6
Fibres sintètiques	70.569	85.500	21,2	93.439	113.771	21,8
Pastes	139.700	234.500	67,9	157.620	241.678	53,3
Paper	260.400	288.500	10,8	366.139	426.035	16,4
Pastes i paper	400.100	523.000	30,7	523.759	667.713	27,5
Sabons i detergents	213.500	225.700	5,7	212.065	215.681	1,7
Olis essencials i perfumeria	146.500	168.500	15,0	173.374	206.164	18,9
Transformat de cautxú	347.790	408.900	17,6	311.764	366.453	17,5
Pintures, vernissos i tints	111.700	128.500	15,0	125.979	146.363	16,2
Material fotogràfic	21.850	26.000	19,0	50.580	57.494	13,7
Colorants, pigments i curtits	59.500	68.400	15,0	48.628	62.141	27,8
Hidrats de carboni i adhesius	76.700	88.200	15,0	92.489	107.485	16,2
Transformat de plàstic	801.000	943.000	17,7	856.540	1.010.295	18,0
Altres	403.790	438.130	8,5	419.648	458.129	9,2
Química transform.	2.182.330	2.495.330	14,3	2.291.067	2.630.205	14,8
Total	4.540.009	5.286.825	16,8	5.196.367	6.138.842	18,1

lars, mil cent setanta-dos associats, que estan esperant què passa, dos-cents no-ranta-dos ajudants, així com el nombre de jubilacions que es produiran en els propers anys. Què passa? No res passa, que no es jubila ningú: divuit el 1998, quinze, catorze, divuit, setze, disset. Hem d'esperar el 2008 o el 2011 o el 2013,

FIGURA 46

Índexs de producció de la indústria química dels principals països occidentals.
Índexs de producció (1990 = 100)

<i>Principals països de la UE</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>% 1994 / 1993</i>
Alemanya	101,0	107,5	6,4
Bèlgica ¹	106,9	110,9	3,7
Dinamarca	109,0	122,0	11,9
Espanya	93,4	106,7	14,2
França	110,5	116,7	5,6
Gran Bretanya	107,4	114,1	6,2
Holanda	94,0	99,0	5,3
Irlanda	156,8	186,0	18,6
Itàlia	97,2	100,5	3,4
Total UE ^{2,3}	102,9	109,5	6,4
<i>Altres països d'Europa</i>			
Àustria	97,9	105,5	7,8
Finlàndia	93,5	105,7	13,0
Noruega	100,3	103,8	3,5
Suècia	115,5	125,0	8,2
Suïssa	112,7	129,1	14,6
Total Europa Occidental	103,3	110,3	6,8
<i>Altres països</i>			
Japó	101,8	106,3	4,4
EUA	106,5	110,8	4,0
Canadà	98,7	100,2	1,5

1. Exclosa la indústria farmacèutica.

2. Exclosos Portugal, Grècia i Luxemburg.

3. Mitjana geomètrica ponderada.

o el 2017 perquè es comencin a produir jubilacions massives. És difícil que es posin més diners en el sistema i com que els alumnes baixen tot l'engranatge quedarà estancat, per tant aquí hi ha un problema (fig. 38-43). Com que m'heu preguntat què passarà amb la química orgànica en el segle XXI, jo us dic que no ho sé, una mica fumut, perquè anirem envellint i els joves no tindran gaires oportunitats de promocionar-se. Això a la Universitat de Barcelona. A la Universitat Autònoma passa el mateix, les jubilacions massives no es produiran fins al 2017 o 2018.

FIGURA 47
Magnituds més importants del sector químic espanyol
(milers de milions de pessetes)

	<i>Any 1994</i>	<i>Variació real respecte a l'any 1993 (%)</i>
Producció	5,303	10,5
Consum aparent	6.139	11,8
Exportació	1.255	31,2
Importació	2.091	25,6
Inversió	157	1,3
Valor afegit	1.856	10,7
Ocupació (milers de persones)	228	-1,5

Distribució de la producció química espanyola (1991-1994)

Subsector	% de producció			
	1991	1992	1993	1994
Química bàsica	19,5	18,2	17,7	19,5
Agroquímica	4,0	3,5	3,2	3,3
Farmaquímica	16,4	18,0	20,7	18,5
Química transformadora	47,6	48,2	48,1	47,2
Fibres químiques	2,0	1,8	1,5	1,6
Pasta i paper	10,5	10,3	8,8	9,9
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Situació de la indústria química a Espanya 1994

Catalunya	38 % de la producció
Madrid	19 % de la producció
País Basc	9 % de la producció
Comunitat Valenciana	8 % de la producció

Composició del sector químic espanyol (1994)
de les 100 millors empreses del sector

Composició	
Majoria capital estranger	70
100 % capital estranger	35
50 % capital estranger	5
Majoria de capital espanyol	25
100 % capital espanyol	23
Total	100

EL FUTUR ECONÒMIC DE LA QUÍMICA ORGÀNICA

Bé, no us espanteu perquè la química va bé, sobretot la química a Espanya. En aquesta transparència (fig. 44-47) de l'NPQ es poden veure els resultats del 1993 i del 1994 en forma d'importacions i exportacions. La química bàsica i la farmaquímica han experimentat bons resultats d'exportació, han pujat un 38 % la seva exportació, per tant, això sembla que va bé. La química en general, la química mundial va bé, la producció, per exemple, plaguicides i matèries primeres especialitzades en farmàcia o en fibres sintètiques també ha augmentat, augmenta força i el consum sembla que també, el consum comença a tirar. I en general, si llegiu qualsevol revista de química d'aquestes generalistes, on hi ha coses d'economia, veureu que la química torna a funcionar bé i que les grans multinacionals tiren i per tant l'avenir sembla clar i diàfan. Això vol dir que potser els nostres estudiants no podran «col·locar-se» a la universitat i en els centres de recerca públics, però que els llocs de treball del sector privat augmentaran sensiblement i tindran feina.

Amb aquesta consideració positiva vull acabar ja definitivament, us dono a tots les gràcies per haver-me escoltat, i haver-me patit aquesta hora i quart. A l'Institut d'Estudis Catalans també li dono les gràcies per la invitació, que m'ha permès poder estar avui aquí amb vosaltres.