

Sobre senyals, sensors i altres aspectes de l'anàlisi química

Discurs llegit el 14 d'octubre de 1992
en la sessió inaugural del curs 1992-1993

SALVADOR ALEGRET I SANROMÀ
Membre de la Secció de Ciències i Tecnologia

La producció i la disseminació de la informació han estat efectuades d'una manera molt diversa al llarg de la història de la humanitat. Actualment és acceptat per tothom que la informació és una de les parets mestres del que s'anomena *societat del benestar*. La societat actual genera, transmet i consumeix informació de natura molt variada. Ens cal informació per a actuar d'una manera ràpida, i amb profit, en activitats tan vitals com ho són les d'ordre econòmic, social, polític, cultural, i, sobretot, les de tipus científic i tecnològic. Amb informació ben estructurada, hom genera coneixement, del qual es servirà per a prendre decisions racionals.

L'examen de les parts constituents d'un tot, separadament o relacionades entre si, és una de les formes bàsiques d'adquisició d'informació científica o tècnica, és la via analítica del coneixement científic. En grec, *αναλυσις* significa 'deslligar o desfer alguna cosa en les seves parts'. Aquesta paraula, originàriament sense connotacions científiques, ha servit per a designar un procés mental de gran transcendència dins el camp filosòfic i científic.

La via analítica ha estat fonamental, per exemple, per a l'emancipació de la química com a ciència moderna. En efecte, l'anàlisi química era una

art —en el sentit preindustrial d'aquest terme— de bases totalment empíriques, que, mercès al fet que possibilitava unes anàlisis de materials cada vegada més exactes, donà peu, durant el segle XVIII i principalment durant el segle passat, al descobriment de lleis i teories racionals que explicaven les relacions quantitatives trobades en les reaccions químiques. Aquesta racionalització de la química actuà de retroalimentació sobre l'anàlisi química, i dotà aquesta última d'uns fonaments teòrics que unificaven tota una constel·lació de procediments i metodologies experimentals existents fins aleshores. En aquest sentit és emblemàtic el llibre d'Ostwald aparegut ara farà cent anys, *Die wissenschaftlichen Grundlagen der analytischen Chemie (Els fonaments científics de la química analítica, Leipzig, 1894)*, on hom posa de manifest una sèrie de coneixements fisicoquímics sobre les dissolucions que permeten d'explicar moltes de les reaccions analítiques i dels procediments volumètrics i gravimètrics que hom utilitzava en aquella època. La química analítica ha esdevingut amb el temps una ciència de la caracterització i del mesurament dels sistemes materials, i inclou en la caracterització qualsevol tipus d'informació de l'ordre que sigui sobre la forma química, i en el mesurament, la teoria de la mesura i el domini dels instruments de mesurament.

Informació analítica

Mai la societat en general no ha estat conscient com ara de la necessitat d'informació analítica de tipus químic, ja que moltes de les decisions que li cal prendre rauen en aquest àmbit científic. Necessitem informació analítica per a efectuar un diagnòstic mèdic o per a recomanar una teràpia determinada. La preservació i la gestió del medi natural impliquen un seguiment de paràmetres químics en els sòls, les aigües i l'aire. Els processos industrials necessiten un control analític, ultra el procés mateix, de les primeres matèries, dels productes acabats, dels subproductes, dels productes intermediaris i dels residus. Cada vegada més, en els més diversos camps biomèdics, ambientals i industrials hi ha una demanda social d'informació analítica, progressivament més i més estricta i en condicions més extremes. Apareixen nous objectes d'anàlisi cada dia, les mostres disponibles són cada vegada més petites, les concentracions a atènyer són cada cop més baixes; hom necessita sempre una millor exactitud i precisió en els resultats, i aquests, els vol en un temps cada vegada més breu, a un cost més baix, etc.

Hom no veu aturador en les exigències de més i millor informació analítica, i és lògic que així sigui, car les decisions que cal prendre a partir d'aquesta informació són cada vegada més específiques, abasten a un major nombre de població i són més urgents.

Com és sabut, la teoria de la informació defineix aquesta com una disminució en la incertesa del nostre coneixement sobre un objecte, un esdeveniment o una acció. Tota informació reposa, d'una banda, en aquells aspectes que tenen rellevància per al reconeixement d'un objecte o una acció (informació qualitativa) i, de l'altra, en la magnitud de la disminució de

la incertesa del nostre coneixement (informació quantitativa). Una anàlisi química és duta a terme, per exemple, perquè tenim una incertesa en la identitat o en la proporció relativa dels components d'una mostra representativa d'un sistema material. Després d'efectuada l'anàlisi, l'estat d'incertesa inicial s'ha convertit en un estat de menys incertesa. En altres paraules, l'anàlisi ens ha fornint un cert grau d'informació. Així, doncs, *informació* i *incertesa* són termes complementaris, i, atès que la teoria de la probabilitat és l'estudi matemàtic de la incertesa, aquesta teoria matemàtica és fonamental per a l'estudi de la informació.

El procés analític

La creació experimental d'informació analítica és efectuada per mitjà del *procés analític*. En la seva formulació més general, aquest procés consta de dos passos independents (veg. la fig. 1). En el primer, la informació sobre la composició d'una mostra és creada i codificada en forma d'un *senyal*. El senyal és general a partir de la interacció de la mostra amb la part codificadora del procés (reactius, energia, instrument de mesurament, etc.; veg. la fig. 2), i resulta en últim terme un senyal generalment del domini elèctric o òptic. En el segon, el senyal és descodificat i convertit en un resultat analític. Això és efectuat en un sistema conceptual o teòric (p. ex., a partir de relacions estequiomètriques conegudes), o bé, més habitualment, en un de real o experimental (p. ex., mitjançant la calibració de la part codificadora; per tant, la funció analítica que genera els resultats a partir dels senyals és la inversa de la funció de la calibració).

Els senyals analítics, analògics o digitals presenten en la pràctica una part determinística i una d'estocàstica. La part determinística és el que hom considera el senyal vertader, el qual sempre es troba emmascarat per la part estocàstica o *soroll* del senyal. El soroll és el principal responsable de l'error aleatori inherent a qualsevol mesurament experimental. Aquest error mai no pot ser corregit del tot i, per tant, és una limitació sempre present en els mesuraments analítics. Això fa que la natura del senyal sigui la d'una variable aleatòria, i, per tant,

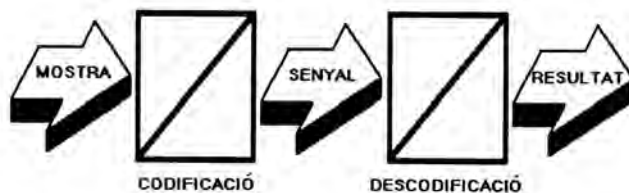


FIGURA 1. Diagrama esquemàtic del procés analític. En la seva formulació més general, el procés analític pot ser descrit per dos passos independents: codificació de la composició de la mostra en un senyal i descodificació d'aquest.



FIGURA 2. Principals etapes dels procediments experimentals de dur a terme el procés analític. La creació experimental d'informació analítica és efectuada per mitjà del procés analític (veg. la fig. 1).

que la descodificació del senyal produeixi també un resultat de natura aleatòria, amb una certa distribució de probabilitat expressada sovint com una distribució gaussiana.

Els senyals generats en la part codificadora del procés poden ser unidimensionals o multidimensionals (univariats o multivariats), segons que siguin funció d'una variable controlada o de diverses. Un procés analític basat en senyals unidimensionals permet, d'una manera més o menys específica, la identificació o la determinació d'un component de la mostra. En canvi, els senyals multidimensionals donen, alhora, aquesta mateixa informació per a diversos components i d'una manera simultània.

La *dada analítica* és una forma bàsica i còmoda d'expressar la informació codificada en un senyal analític, i acostuma a tenir la forma numèrica. Dades i senyals de vegades es confonen. De fet, el senyal fa un llarg camí abans de convertir-se en una dada. Cal condicionar-lo electrònicament i transmetre'l cap a un sistema conversor o d'adquisició de dades, amb el mínim retard, distorsió o cost i amb la màxima seguretat i fiabilitat.

Sovint els senyals o les dades en brut són sotmesos a tractaments o a processaments posteriors. El senyal digital és més fàcil de processar que l'analògic. Els senyals analítics són mesurats en moltes dimensions, tal com ja ha estat indicat, però també ho són en dominis diferents (temps, freqüència, espai, etc.). En moltes aplicacions analítiques, les dades són processades en el mateix domini en què són mesurades. En altres ocasions, no obstant això,

l'adquisició d'informació és facilitada per mitjà d'un domini diferent del domini en què inicialment el senyal ha estat produït, és a dir, mitjançant una transformació, com la coneguda transformació de Fourier.

Algunes vegades la qualitat del senyal no és prou bona per a derivar-ne una dada o un resultat analític, a causa, per exemple, que el senyal presenta un soroll relativament massa elevat o que la part experimental o instrumental del procés analític ha introduït distorsions. Cal, doncs, d'una banda, condicionar el senyal per a reduir-ne el nivell de soroll i poder-lo tractar posteriorment de la manera més convenient, ja sigui atenuant-lo directament en el mateix domini en què ha estat mesurat o bé filtrant-lo en un domini diferent. D'altra banda, si hom coneix la font de degradació d'un senyal, pot aplicar tècniques de restauració o de desconvolució per tal de restituir el senyal vertader.

Hom recol·lecta o adquireix amb la instrumentació analítica actual una gran quantitat de dades, que cal reduir a unes formes més manejables sense perdre la informació rellevant. Moltes vegades la reducció de dades està més en la utilització d'un model que explica les dades experimentals, que en la utilització de les dades en si.

Dada i resultat analític de vegades també es confonen. Normalment, però, cal descodificar la informació analítica que porta la dada, tal com hem vist, i cal elaborar-la de la manera que sigui més útil per a prendre decisions. Això es fa per mitjà del *resultat analític*, que constitueix un nivell superior d'informació, ja que comprèn la dada i la seva interpretació.

A la contínua generació de coneixement analític li cal el suport constant d'ingents quantitats d'informació emmagatzemada. Així, doncs, les dades analítiques en format numèric, gràfic o textual poden ser guardades d'una manera jerarquitzada, des d'elements individuals fins a agrupacions estructurades, en bases de dades, i configurades en *sistemes d'informació*, els quals, amb l'ajut de tècniques d'intel·ligència artificial, permeten l'anàlisi, l'organització, la recerca, la recuperació i la disseminació de la informació analítica.

No ens ha d'estranyar, doncs, que en el desenvolupament de sistemes de processament i emmagatzemament automàtics d'informació analítica hom organitzi d'una manera simbòlica els sistemes amb conceptes i mètodes propis de la semiòtica.

Finalment, per tot el que acabem d'exposar, se'ns fa evident la coneguda definició de química analítica feta per Malissa, que la concep com una ciència de la producció i la interpretació dels senyals necessaris per a la caracterització qualitativa i quantitativa dels materials.

Evolució metodològica del procés analític

Els aspectes metodològics de la producció d'informació mitjançant el procés analític es troben en una evolució constant. L'anàlisi química, que en un primer moment tenia unes bases totalment empíriques i que utilitzava la reacció química com a única font de generació de

senyals, cap al final del segle passat, tal com ja hem vist, gràcies a la termodinàmica química i més tard a la cinètica química, agafa una formulació teòrica que permeté d'explicar les reaccions utilitzades fins aleshores i de predir-ne de noves.

Com a conseqüència de la Segona Guerra Mundial foren posats a l'abast avenços substancials en el camp de la *instrumentació* i, en particular, de l'electrònica. Això repercutí en una anàlisi química que utilitzava l'instrument com a generador de senyals, en una química analítica que desenvolupava la detecció o el mesurament de qualsevol propietat fisicoquímica útil per a la determinació qualitativa o quantitativa dels sistemes materials o per a la separació de llurs components, i en un analista amatent al perfeccionament constant dels instruments de mesurament i de les tècniques d'aprofitament de la informació continguda i transportada pels senyals.

Després de la consolidació de les metodologies manuals i instrumentals, considerades ja avui com a clàssiques, les anàlisis químiques estan rebent l'impacte de les noves tecnologies (veg. la fig. 3). La introducció de l'ordinador ha estat qualificada de vertadera revolució en molts camps de l'activitat humana. Actualment hom pot dir que l'*automatització* del procés analític i l'ús dels ordinadors en química analítica són dos fets indistingibles que configuren una nova categoria dins de les metodologies analítiques.

L'analista i l'ordinador poden dur a terme el procés analític cooperativament o, fins i tot, l'ordinador pot aconduir-lo tot sol. De fet, d'una manera global o parcial, l'ordinador intervé cada vegada més en la realització de l'anàlisi química. Intervé en la gestió i el control dels instruments, tot possibilitant procediments i metodologies inimaginables sense la seva presència. Proporciona mitjans automàtics —barats, ràpids i fiables— per a l'adquisició, la transmissió, el processament i l'emmagatzemament de senyals i dades, la qual cosa repercuteix favorablement en el cost, la rapidesa i la qualitat i quantitat dels resultats analítics.

T elecomunicacions
E lectrònica
C omputadors
N ous Materials
O ptoelectrònica
B iotecnologia
E nergia
R obòtica
G enètica
eS pai

FIGURA 3. TECNOBERGS és un acrònim mnemotècnic que fa referència a les noves tecnologies. El desenvolupament de la química analítica està cada vegada més condicionada a aquestes tecnologies. Alhora, aquestes necessiten, per a desenvolupar-se, més i millor informació analítica sobre els materials i els processos.

No obstant això, disposar de més dades no vol dir necessàriament disposar de més i millor informació. Aquest és el punt de partida de la *quimiometria*, una nova disciplina incardinada en la química analítica. Aquesta disciplina té per objecte l'optimització de la producció de la informació analítica. Col·loca l'aparent heterogeneïtat conceptual i metodològica de l'anàlisi química (calibració, optimització de procediments, selecció de metodologies, processament de senyals, tractament de dades, etc.) dins de models matematicoestadístics, els quals tenen una rigorosa descripció teòrica, tant d'una manera individual com en conjunt.

La introducció de l'ordinador en el laboratori ha permès la construcció fàcil de sistemes integrals de bases de dades, els quals poden estar interconnectats d'una manera remota mitjançant xarxes informàtiques, moltes vegades d'àmbit supranacional. Mai com ara no hi ha hagut tanta informació analítica disponible, fàcilment accessible i ben gestionada en termes de seguretat, integritat o privacitat. A més a més, la introducció de l'ordinador al laboratori d'anàlisi química va de bracet amb la informàtica de gestió, on la funció del laboratori és considerada com a part d'un procés administratiu.

A poc a poc, l'experiència adquirida en la *robotització* de les plantes industrials es va estenent també als laboratoris. La integració de la mecànica i la informàtica va posant a l'abast manipuladors multifuncionals programables, que, en el cas dels laboratoris d'anàlisi, troben de moment aplicació en aquelles tasques més difícils d'automatitzar del procés analític, com són ara les relatives al tractament de la mostra.

L'aplicació dels ordinadors en els problemes d'ordre científic, com els de tipus analític, requereix cada vegada un grau més elevat d'abstracció conceptual. En certs casos calen mètodes basats en tractaments simbòlics de l'àmbit de la intel·ligència artificial, que, mitjançant uns programes informàtics especials (*sistemes experts*) emulen d'alguna manera certes característiques del pensament humà. Així, per exemple, la selecció d'un mètode d'anàlisi determinat és efectuada per l'analista basant-se en la seva experiència i intuïció. Un sistema expert ho fa tenint en compte una base de dades adequada (experiència) i un programa de recerca heurística, que simula la intuïció.

Selectivitat del procés analític

La limitada selectivitat de la major part de les reaccions clàssiques utilitzades com a generadores d'informació en anàlisi qualitativa i quantitativa ha obligat, per tal de poder efectuar una determinació lliure d'interferències, a desenvolupar uns procediments analítics complexes, sovint passant necessàriament per processos previs de separació. D'altra banda, les tècniques instrumentals d'anàlisi —bàsicament, espectroscòpiques o electromètriques—, orientades en principi cap a l'etapa final de detecció o mesurament, han augmentat llur

selectivitat a costa de desenvolupar noves propietats analítiques més selectives que comporten un disseny instrumental sofisticat i costós.

Com és sabut, el *reconeixement molecular* és la base de l'organització i la comunicació biològiques. La comunicació química entre cèl·lules i òrgans, per mitjà de molècules complementàries, és un procés de vital importància, responsable de l'organització i protecció dels organismes i de la regulació de llur metabolisme. El reconeixement selectiu entre molècules, a causa de llurs estructures i conformacions complementàries, optimitzat per l'evolució, ha cridat l'atenció del químic analític. Sistemes biològics com les interaccions entre enzims i substrats o inhibidors, entre antigens o haptens i anticossos, entre hormones, fàrmacs o neurotransmissors i receptors, han donat peu a metodologies analítiques altament selectives, especialment en l'àmbit clínic. Enzims i immunoespècies són des de fa temps reactius habituals de moltes anàlisis i assaigs.

A partir dels treballs de Pedersen, Cram i Lehn, que els valgueren el Premi Nobel de química de l'any 1988, s'han obert unes noves expectatives per a la selectivitat i la simplificació del procés analític en reconsiderar-se de nou el reconeixement d'ions i molècules per mitjà de reactius sintètics. D'una manera molt elegant, amb procediments d'arquitectura molecular, hom sintetitza reactius que possibiliten, en molts casos, la formació selectiva de complexos receptor-substrat entre espècies iòniques i moleculars, quan aquestes es complementen en geometria (forma i dimensions) i en energia (grups enllaçants).

Al costat d'aquesta química molecular de reconeixement, actualment hom està posant els fonaments d'una química supramolecular, que aproximadament és, en els aspectes de reconeixement, la intersecció de la química, la física i la biologia. Hom pretén dissenyar unes molècules, vertaders dispositius moleculars generadors de senyals (fotònics, electrònics o iònics), amb comportament supramolecular, és a dir, capaces, per exemple, d'organitzar-se, comunicar-se, replicar-se o regular-se tal com ho fan els sistemes biològics. Tot això apunta cap a una ciència experimental de la informació i la comunicació moleculars, que pren per base la química de la generació, el processament, la conversió i la transmissió de senyals moleculars.

Integració del procés analític

Encara avui les diverses estratègies manuals i instrumentals del procés analític requereixen un disseny sofisticat i d'alt cost. Això, entre d'altres coses, ha condicionat el procés en el sentit que aquest necessita un entorn de suport, és a dir, un laboratori i un personal especialitzat.

El *sensor químic* constitueix una estratègia autònoma en el desenvolupament de la instrumentació analítica i aporta solucions originals en la realització del procés analític fora del laboratori. És concebut com un petit dispositiu, robust, portàtil, fàcil d'utilitzar, que subministra informació analítica fiable, d'una manera contínua.

Tal com ha succeït amb alguna de les noves tecnologies, després d'una etapa de validació per part dels laboratoris especialitzats, el mercat potencial de dispositius analítics d'aquestes característiques és previst que sigui el dels productes de consum i d'utilització personal, tant per al confort i la seguretat domèstics (control de productes alimentaris, de fums, de fuites de gas, etc.), com per al control d'alguns paràmetres clínics (glucosa en sang, proves d'embaràs, etc.).

Un sensor químic està format per dues parts. Un constituent químic o biològic de reconeixement selectiu i un constituent instrumental, format bàsicament per un *transductor* del senyal produït en l'esdeveniment de reconeixement (veg. la fig. 4). Ambdues parts poden trobar-se físicament separades o integrades en el transductor pròpiament dit, el qual, segons el cas, converteix senyals primaris tèrmics, màssics, electroquímics o òptics en senyals normalment del domini elèctric. No cal dir que el principal problema en la construcció d'aquests dispositius és la immobilització i la integració dels elements de reconeixement molecular sobre les superfícies actives dels transductors.

La detecció simultània de diversos analits pot ser duta a terme per mitjà d'una matriu de sensors, on cada element sensor és el més selectiu possible per a un analit determinat. Una altra possibilitat més interessant és utilitzar una matriu de sensors no gaire selectius, que presentin sensibilitats entrecruades entre ells (*sensor multidimensional*). Amb tècniques de processament de senyals és possible de reduir els entrecruaments de sensibilitats entre els sensors i, a més a més, amb la utilització de mètodes de reconeixement de models, és possible identificar qualitativament i quantitativa, i d'una manera simultània, un nombre d'analits superior al nombre de sensors que forma la matriu. Aquesta situació és similar a la que s'esdevé en els sentits de l'olfacte i del gust. En efecte, en els animals aquests sentits no presenten una selectivitat especial cap a uns estímuls determinats; la identificació d'aquests, dels diferents gustos o olors, és feta en el cervell, probablement a partir del reconeixement d'un espectre o un model de senyals provinent de les diverses classes de cèl·lules sensibles que presenten llurs sensibilitats entrecruades, amb una resposta determinada per a cada olor o gust.

L'atractiu que constitueix la integració de part del procés analític en un sistema sensor ha fet convergir en aquest camp recerques d'àmbits molt diversos. On hom dedica més esforços avui és en el camp dels sensors que incorporen elements biològics de reconeixement molecular en llur construcció, atesa l'alta selectivitat d'aquests elements, tal com ja ha estat comentat. Aquests tipus de sensors químic són anomenats *biosensors*.

Actualment hom creu que el concepte científic i tecnològic de biosensor (veg. les fig. 4 i 5) pot aportar solucions innovadores i pràctiques, no tan sols en l'àmbit clínic —com el cas dels *immunosensors*—, sinó també en d'altres camps. La indústria de l'alimentació demana mètodes ràpids per a l'estimació de la caducitat, el deteriorament o la contaminació dels productes. El control ambiental genera unes necessitats específiques de detecció simple

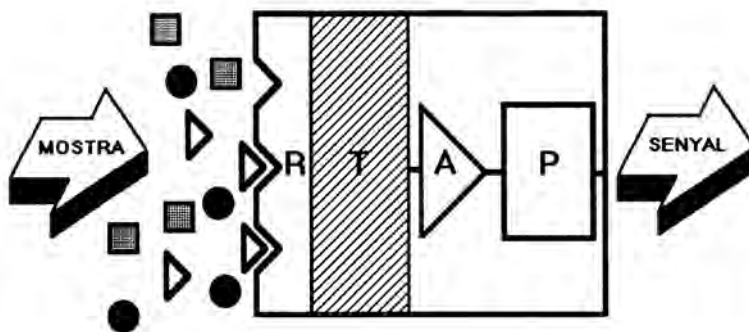


FIGURA 4. Diagrama esquemàtic del funcionament d'un sensor químic. Només un component de la mostra és reconegut pel sistema de reconeixement (R). El senyal primari associat al procés de reconeixement és convertit en un senyal elèctric pel transductor (T); aquest senyal és amplificat i condicionat (A), i posteriorment és processat i presentat en forma de dada (P). El sensor químic simplifica i integra en un espai reduït les diverses etapes de la part codificadora del procés analític (cf. la fig. 2).

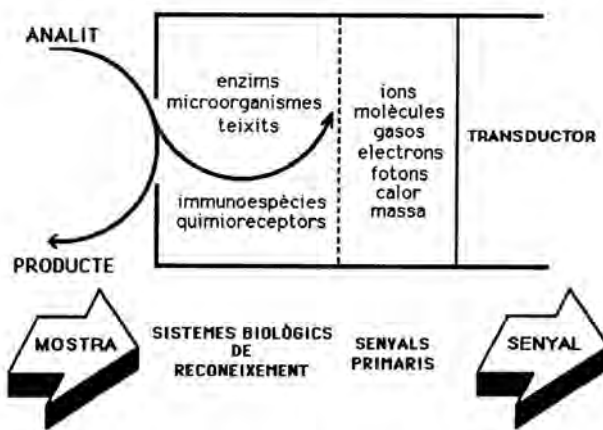


FIGURA 5. Principals sistemes biològics de reconeixement molecular i tipus de senyals associats als processos de reconeixement. Tant els uns com els altres determinen les diferents estratègies actuals en la construcció de biosensors. Un biosensor és un sensor químic (veg. la fig. 4) que incorpora en la seva construcció components de reconeixement molecular de tipus biològic.

d'uns productes contaminants d'una gran dispersitat estructural. La indústria biotecnològica ha de controlar d'una manera fiable productes en medis molt complexes. La indústria militar necessita de dispositius simples i sensibles de detecció d'agents químics i biològics. Són aquests casos alguns dels camps que ben segur actualment lideren la recerca en biosensors.

Una de les tendències de la tecnologia moderna és la *miniaturització*. Un exemple paradigmàtic n'és la indústria microelectrònica, on la reducció i la integració dels components electrònics és un fet ben conegut i en evolució constant. Precisament, la mateixa tecnologia que ens ha fornit transistors i circuits integrals, ara proporciona també microsensors, d'unes dimensions inferiors als mil·límetres quadrats. I també hi ha una certa analogia amb la moderna tecnologia de les comunicacions, on els avenços en la transmissió de senyals per guies òptiques de diferent geometria han proporcionat uns materials i uns conceptes innovadors en la construcció de microsensors. En definitiva, microenginyeries com les acabades d'esmentar són capaces de fabricar vertaders microinstruments analítics, com els microsensors químics, amb l'avantatge addicional que el tractament del senyal pot ser també integrat en el mateix xip sensor.

La *microfabricació* s'estén actualment cap a la construcció de microactuadors, com vàlvules, rotors, bombes, etc., i de microestructures, com conduccions, columnes cromatogràfiques, guies òptiques, etc., amb la qual cosa s'albira en un futur immediat l'aparició de microinstrumentació analítica molt integrada, on, per exemple, un procés analític convencional de tipus cromatogràfic (transport de mostra + separació cromatogràfica + detecció + tractament de dades) estarà confinat en un espai de pocs mil·límetres quadrats.

Remarques finals

Sense adonar-nos-en, en parlar d'alguns aspectes de l'anàlisi química, clàssics i moderns, hem posat de manifest la vinculació interdisciplinària de la química analítica a altres disciplines de l'àmbit de la química, i també de la física i de la biologia.

Anàlogament, hem posat de manifest el fort impacte causat per les noves metodologies sobre les formes tradicionals de dur a terme el procés analític. Així, per exemple, com s'han anat introduint darrerament uns nous utilatges de la mà de la microelectrònica i de la microinformàtica o de la indústria de les telecomunicacions; i també la repercussió d'aquests utilatges en l'automatització i la robotització de les anàlisis químiques o en l'accessibilitat i la disponibilitat de la informació analítica.

Els nous materials, tant sintètics com naturals, amb noves propietats, especialment de reconeixement molecular, al costat de les noves tecnologies, forneixen unes anàlisis químiques cada vegada més selectives, la qual cosa sovint es tradueix en unes anàlisis més fiables, més

simples, més ràpides o més barates. Els sensors químics han aportat una solució original a la integració i la miniaturització del procés analític.

I, finalment, hem posat de manifest que la societat espera contínuament el químic analític perquè trobi solucions satisfactòries a la incessant demanda d'informació analítica en situacions i condicions cada vegada més extremes o en sistemes cada vegada més i més complexos.

Finalment, per a concloure aquesta exposició, ens és plaent de recordar que la Secció de Ciències del nostre Institut, l'any 1985, va crear un grup de recerca sobre sensors químics i biosensors per estimular els estudis en aquest camp. Aquest grup és el primer antecedent de recerca organitzada en aquesta àrea al nostre país i a l'Estat. El reconeixement de la necessitat de recerca en l'àmbit dels sensors químics, fet per l'Institut d'Estudis Catalans, fou suficient per a anar cohesionant recerca i desenvolupament en aquest àmbit de científics de casa nostra. El nucli investigador inicial procedia de la Unitat de Química Analítica del Departament de Química de la Universitat Autònoma de Barcelona. Posteriorment, la recerca en sensors químics i biosensors s'ha anat eixamplant amb la participació d'investigadors de les altres universitats catalanes i del Consell Superior d'Investigacions Científiques, especialment del Centre Nacional de Microelectrònica, de Bellaterra. Avui a Catalunya la recerca en sensors químics es troba mínimament consolidada i, si bé és encara insuficient en molts aspectes, comença a tenir un reconeixement internacional.

Hem volgut esmentar aquí aquest fet, que té una relació directa amb algunes de les qüestions tractades en l'exposició efectuada, a fi de deixar constància una vegada més que, malgrat les dificultats existents d'ordre divers per a bastir a diferents nivells una política catalana de recerca científica i tècnica, l'Institut, en la mesura de les seves possibilitats, ha procurat i procura d'actuar, en cada moment, com a màxima institució acadèmica dels Països Catalans, i que no defuig, quan cal, les accions de coordinació i de foment de la recerca ni tampoc d'execució d'aquesta.

Algunes referències bibliogràfiques

- ALEGRET, S. «Biosensores. Su utilización en los campos biomédico, ambiental e industrial». *Industria Farmacéutica*, 5, núm. 6 (1991), p. 33-44.
- BARKER, P. G. *Computers in analytical chemistry*. Oxford: Pergamon Press, 1983.
- CASASSAS, E. «Els fonaments canviants de la química analítica». *Bull. Soc. Cat. Ciènc.*, 4 (1985), p. 27-48.
- CURRELL, G.; CHAPMAN, N. B. *Instrumentation: Analytical chemistry by open learning*. Londres: ACOL-Chichester: John Wiley, 1987.

- DARIO, P. [ed.]. *Sensors and sensory systems for advanced robots*. Berlín: Springer, 1988. (NATO ASI Series. Series F: Computer and Systems Science).
- ECKSCHLAGER, K.; STEPANEK, V. *Information theory as applied to chemical analysis*. Nova York: John Wiley, 1979.
- *Analytical measurement and information: Advances in the information theoretic approach to chemical analysis*. Letchworth [RU]: Research Studies Press, 1985.
- EDMONS, T. E. [ed.]. *Chemical sensors*. Glasgow: Blackie and Son, 1988.
- GÖPEL, W.; JONES, T. A.; KLEITZ, M.; LUNDSTRÖM, I.; SEIYAMA, T. [ed.]. «Chemical and biochemical sensors». Parts I i II. A: GÖPEL, W.; HESSE, J.; ZEMEL, J. N. [ed.]. *Sensors: A comprehensive survey*. Vol. 3. Weinheim: VCH, 1992.
- HALL, E. A. H. *Biosensors*. Milton Keynes [RU]: Open University Press, 1990.
- HONG, F. T. [ed.]. *Molecular electronics: Biosensors and biocomputers*. Nova York: Plenum Press, 1989.
- KLEINSCHMIDT, P.; HANRIEDER, W. «The future of sensors, material science or software engineering». *Sensors and Actuators, sèrie A*, 33 (1992), p. 5-17.
- LEHN, J.-M. «Perspectives in supramolecular chemistry: From molecular recognition towards molecular information processing and self-organization». *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 29 (1990), p. 1304-1319.
- MALISSA, H. «Some philosophical fundamentals of analytical chemistry». *Fresenius J. Anal. Chem.*, 337 (1990), p. 159-163.
- MASSART, D. L.; VANDEGINSTE, B. G. M.; DEMING, S. N.; MICHOTTE, Y.; KAUFMAN, L. *Chemometrics: A textbook*. Amsterdam: Elsevier, 1988.
- MURRAY, W. R.; DESSY, R. E.; HEINEMAN, W. R.; JANATA, J.; SEITZ, W. R. [ed.]. *Chemical sensors and microinstrumentation*. Washington: ACS, 1989. (ACS Symposium Series; 403)
- PERSAUD, K. C. «Electronic gas and odour detectors that mimic chemoreception in animals». *TRAC*, 11 (1992), p. 61-67.
- THOMPSON, M. [et al.]. «The molecular cognitive component of chemical sensor selectivity». A: SEIYAMA, T. [ed.]. *Chemical sensor technology*. Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, 1988.