

Química verda



Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat

Química verde
Green chemistry

Medi Ambient. Tecnologia i Cultura. Núm. 48
Desembre del 2011
© Departament de Territori i Sostenibilitat
de la Generalitat de Catalunya

Director:
Lluís Reales

Consell de Redacció:
Jordi Bigues
Joana Díaz
Xavier Duran
Luis Ángel Fernández Hermana

Consell Científic:
Joan Albaigés
José M. Baldasano
Martí Boada
Anna Cabré
Ignasi Doñate
Ramon Folch
Josep Enric Llebot
Rafael Mujeriego
Josep Puig
Joandomènec Ros
Salvador Rueda
Tulio Rosembuj

La versió electrònica de la revista *Medi Ambient. Tecnologia i Cultural* la trobareu a: <http://www.gencat.cat/dmah>

La versió electrònica ha apostat per la interactivitat i ofereix la possibilitat que el lector pugui opinar, fer comentaris i suggeriments o expressar els seus acords i desacords respecte als articles que es publiquen a la revista. Totes les opinions que s'emetin es faran arribar a l'autor de l'article en qüestió. Els comentaris més rellevants seran publicats al següent número en paper i en format electrònic de la revista.

Disseny i realització: JQ Trias Design
Fotomecànica i impressió: Jomalsa
Traducció: T&S, Traduccions i Tractament
de la Documentació, S.L.

Medi Ambient. Tecnologia i Cultura
no s'identifica necessàriament amb l'opinió
que expressen els articles signats.

DL: B-44071-91
ISSN: 1130-4022

**Aquesta publicació ha estat realitzada
amb paper ecològic.**

- 3 EDITORIAL
Més enllà del reactor i el precipitat
Lluís Reales
Director de Medi Ambient, Tecnologia i Cultura
- 4 MIRADA ÈTICA
La responsabilitat social de la indústria química
Antoni Zabalza
L'article repassa els principals reptes del sector químic en matèria mediambiental i proposa una ètica empresarial que faci possible el progrés
- 18 MIRADA LEGISLATIVA
El Reglament REACH: una oportunitat per a la química verda?
Tatiana Santos i Dolores Romano
En aquest article es descriuen els riscos per a la salut i el medi de les substàncies químiques sintètiques i els canvis legislatius des dels anys setanta
- 26 MIRADA INDUSTRIAL
Química verda: ciència per a la sostenibilitat
Carles Estévez
A partir dels dotze principis que defineixen la química verda, es fa un repàs de les seves innovacions industrials més significatives
- 36 CARA A CARA
Diàleg entre Xavier Doménech i Josep Castells
Per Michele Catanzaro
Dos reconeguts experts conversen sobre els reptes de la química verda
- 42 POLÍTIQUES PÚBLIQUES
Química verda: cap a un model eficient i d'alta qualitat ambiental
Assumpta Farran
L'autora argumenta que Catalunya és al capdavant de la química verda a Espanya i detalla el marc normatiu català

SUMARIO

Texto castellano



- 49 EDITORIAL
Lluís Reales
- 50 LA MIRADA ÉTICA
Más allá del reactor y el precipitado
Antoni Zabalza
- 57 LA MIRADA LEGISLATIVA
El Reglamento REACH: una oportunidad para la química verde?
Tatiana Santos y Dolores Romano
- 62 LA MIRADA INDUSTRIAL
Química verde: ciencia para la sostenibilidad
Carles Estévez
- 67 CARA A CARA
Diálogo entre Xavier Doménech y Josep Castells
Por Michele Catanzaro
- 70 POLÍTICAS PÚBLICAS
Química verde: hacia un modelo eficiente y de alta calidad ambiental
Assumpta Farran

CONTENTS

English text



- 75 EDITORIAL
Lluís Reales
- 76 ETHICAL PERSPECTIVE
The Social Responsibility of the Chemical Industry
Antoni Zabalza
- 82 LEGISLATIVE PERSPECTIVE
The REACH Regulation: An Opportunity for Green Chemistry?
Tatiana Santos and Dolores Romano
- 87 INDUSTRIAL PERSPECTIVE
Green Chemistry: Science for Sustainability
Carles Estévez
- 92 FACE TO FACE
Dialogue Xavier Doménech and Josep Castells
Josep Maria Mallarach Carrera
- 94 PUBLIC POLICY
Green Chemistry: Towards an Efficient, High-quality Environmental Model
Assumpta Farran

Més enllà del reactor i el precipitat

Els darrers anys, el sector químic ha eixamplat molt la seva mirada. Per pressió social i legislativa, per raons econòmiques i també per responsabilitat. Les empreses del sector, els químics i els enginyers han mirat més enllà del reactor i del vas de precipitats. Els valors associats a la sostenibilitat, l'entorn i el conjunt de la societat han esdevingut focus d'interès d'una indústria de gran pes a Catalunya.

El repte no és gens fàcil. D'entrada, hi ha àmbits de la ciència que tenen bona fama —per exemple la biologia o la medicina— i d'altres, com la química, que més aviat arrossegueu mala fama. Sens dubte, els accidents de Seveso i Bhopal van contribuir a la mala imatge, que encara perdura, de la indústria química. A partir d'aleshores, el sector es va posar les piles i va començar a canviar les pràctiques. Certament, i depenent de la sensibilitat social i de l'entorn legislatiu, en uns racons de món més que en d'altres. Els reptes encara són molts, però el sector ha fet els deures, molt més que altres àmbits com el transport, per exemple.

En aquest context i tenint en compte que el 2011 és l'Any Internacional de la Química, *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura* dedica un número a la química verda. Una proposta dels anys noranta ideada pels químics nord-americans Anastas i Warner i que es basa en dotze principis. L'article de Carles Estévez, director científic de l'Institut Universitari de Ciència i Tecnologia (IUCT), detalla aquests principis i destaca algunes de les innovacions industrials inspirades en la química verda.

El primer article d'aquest número està escrit per Antoni Zabalza, president de FedeQuim i d'Ercros. Des de la perspectiva de l'economia, l'autor fa un resum excel·lent dels reptes ambientals de la indústria química i pren una posició clara davant el canvi climàtic i la petjada de carboni: defensa que hem de ser curosos amb les incerteses científiques i no posar en perill el futur d'un sector que ha fet els deures i que és clau per a l'economia catalana.

Des d'una perspectiva diferent i complementària, Tatiana Santos i Dolores Romano, investigadores de l'ISTAS, vinculat a Comissions Obreres, subratllen els perills de les substàncies químiques per a la salut humana i l'entorn. També mostren una mirada crítica al Reglament REACH, impulsat per la Unió Europea per fomentar la transparència i avaluar els riscos del sector.

Com en els darrers números, Michele Catanzaro, doctor en física i periodista, ha moderat i ha transcrit un diàleg enriquidor entre experts en la matèria: en aquest cas, Xavier Doménech, professor i investigador a la UAB, i Josep Castells, president de l'Institut Universitari de Ciència i Tecnologia. Tots dos deixen clar el pes dels factors socials en els reptes de la química verda.

Finalment, Assumpta Farran, responsable de les polítiques de qualitat ambiental de la Generalitat de Catalunya, argumenta que la química verda és un bon full de ruta per assolir un model eficient i d'alta qualitat ambiental. ●

Lluís Reales

Director de *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura*

La responsabilitat social de la indústria química





Antoni Zabalza
Economista. President de FedeQuim
i d'Ercros

L'autor, des d'una vessant econòmica i partint dels nostres estils de vida, analitza la relació entre indústria i contaminació ambiental. També descriu la situació del sector químic i conclou amb una proposta d'ètica empresarial compatible amb el progrés econòmic i social.

La societat demana als responsables de la indústria química que explicitin les bases morals de la seva actuació. Assolir de manera legal la rendibilitat, i amb aquesta la capacitat de produir de manera eficient i competitiva béns i serveis que el públic demana, no sembla que sigui avui dia una justificació suficient de l'activitat industrial. Altres aspectes —el respecte al medi ambient, la seguretat tant dels processos productius com dels treballadors que els manegen, les condicions laborals, la discriminació per raó de sexe, etc.— són tan o més importants que la rendibilitat per valorar en un sentit ampli els resultats d'una empresa. La indústria química està raonablement ben preparada per donar resposta a aquestes qüestions. Atesa la naturalesa de la seva activitat i la incidència potencial d'aquesta en el medi ambient, la indústria química ha estat des de fa molt temps el centre d'atenció dels òrgans reguladors i de l'opinió pública, i ha reaccionat de manera positiva als reptes que li han anant plantejant. Pel que fa a la seguretat i al medi ambient, la responsabilitat social de la indústria química pren forma en el programa voluntari d'abast mundial denominat «Responsible Care»,¹ que marca els objectius del sector i posa de manifest les significatives millores obtingudes al llarg del temps.

L'enfocament d'aquest article és fonamentalment econòmic. Això es pot considerar com una limitació, però també com una manera d'apropar-se a les qüestions mediambientals des d'una perspectiva que pot ser útil. No hi ha contradicció entre rendibilitat econòmica i respecte al medi ambient, però millorar les prestacions mediambientals de l'activitat industrial té un cost que pot reduir la competitivitat de les nostres empreses. Aquest és un argument del qual potser s'ha abusat una mica: la davallada relativa de la indústria als països avançats no s'explica ni principalment ni fonamentalment pels nous requeriments mediambientals. Per això, l'apartat següent d'aquest article tracta aquesta qüestió.

D'altra banda, veure les coses des de l'angle econòmic ens pot ajudar a relativitzar-les. La contaminació del medi ambient és una conseqüència ineludible de la fabricació de productes que són necessaris per a la societat i que la gent demana. Ha de ser la mínima possible, però difícilment podrà desaparèixer del tot, tret que estiguem disposats a canviar de manera impensable el nostre estil i qualitat de vida (de fet, tret que estiguem disposats a renunciar fins i tot a l'esperança de vida actual). El tercer apartat presenta un breu repàs de l'argument econòmic bàsic sobre la regulació de la contaminació.



**La contaminació
és una conseqüència
de produir béns
i serveis que són
necessaris i que els
ciutadans demanen.**



Després d'aquestes consideracions preliminars i metodològiques, el quart apartat entra de ple en el sector químic: en una descripció resumida i en els seus reptes principals, entre els quals se seleccionen la implantació del programa de registre, avaluació i autorització de productes químics a Europa (REACH), el canvi climàtic, la petjada de carboni del sector i la política energètica. El treball conclou amb un apartat de consideracions finals.

La caiguda relativa de la indústria

L'activitat industrial no viu els millors moments o, com a mínim, la percepció que el públic té de la indústria és que estem davant un sector amb problemes estructurals significatius. Els casos d'empreses que han de tancar perquè no poden resistir la competència asiàtica, o de multinacionals que decideixen deslocalitzar les plantes a països amb salaris més baixos, són notícies malauradament recurrents en la nostra premsa diària que evidentment preocupen els ciutadans, igual que també preocupa el fet que, des de ja fa bastant de temps, observem a Catalunya una caiguda en termes relatius del producte industrial.²

Sense minimitzar aquest impacte en un país industrial per excel·lència com és Catalunya, el primer que hem de fer és situar aquesta qüestió en una proporció justa. No és un fenomen exclusiu de Catalunya, ni és un fenomen d'ara. És, en gran part, una conseqüència inevitable del mateix progrés econòmic. De la mateixa manera que fa cinquanta o seixanta anys el progrés al nostre país es va manifestar en la forma d'una forta davallada del pes de l'activitat agrícola i ramadera, avui es manifesta en la forma d'una reducció relativa del pes de l'activitat industrial i de l'augment del pes dels serveis corresponents.

Per què es produeix aquest fenomen? Hi ha dues causes. Una, que és la que tothom sempre té present (i la que més contribueix a la preocupació de la gent), és la competència internacional. I l'altra, sobre la qual ningú no parla però que quantitativament

és molt més important que la primera, són els canvis estructurals de la nostra demanda interna pròpia. Comencem per la segona d'aquestes causes i fem-ho amb una sèrie d'exemples molt senzills.

Fa cinquanta anys, la família típica catalana no tenia com a mínim un parell de comptes bancaris com té ara; tenia una llibreta d'estalvis, i encara! Als nostres pares no els passava pel cap anar a fer esport a un gimnàs, com ara molta gent considera completament necessari per mantenir la salut. La família mitjana rarament marxava fora de vacances, mentre que ara les vacances que involucren viatges i estades a l'estranger són normals per a moltes famílies. L'ús de serveis d'oci, d'educació, de salut, de cultura, era aleshores infinitament més reduït que ara, i també ho era l'assistència a les persones grans, que normalment es feia en el si de les famílies. Aquesta és la realitat: consumim més serveis que abans, tot i que continuem consumint tants productes manufacturats com abans, o més i tot. Aquesta és simplement una conseqüència del nostre nivell de renda més alt i un senyal del nostre progrés; però un senyal que fa, alhora i de manera aritmèticament necessària, que el pes relatiu de l'activitat industrial es redueixi en favor del pes relatiu dels serveis.

Això vol dir que la competència internacional no té res a veure amb aquest fenomen? En absolut, la competència internacional té un paper important i, m'atreviria a dir, també positiu. De fet, la nostra exposició a la competència exterior és potser l'incentiu més poderós per promoure el canvi d'estructura industrial que es necessita per augmentar la nostra productivitat i, per tant, el nostre benestar econòmic. Naturalment, totes les coses tenen efectes indirectes i, tot i ser bones globalment, poden generar guanyadors i perdedors a curt termini. A mesura que la productivitat del país augmenta, també ho fan els salaris, i no ho fan segons quina sigui la marxa de cada sector, sinó que ho fan en general. És normal, doncs, que aquesta circumstància incideixi en la transformació de l'estructura productiva. Activitats que abans eren inter-

nacionalment competitives, ara no ho són. El nostre propi progrés ens porta a reassignar recursos cap a activitats on la productivitat és més alta. Uns sectors perden pes i d'altres en guanyen.

De fet, i això és una dada que no es coneix prou, els darrers anys les «localitzacions» a Catalunya han estat més importants que les «deslocalitzacions». El nombre d'empreses que han decidit instal·lar-se a Catalunya, així com el volum d'ocupació creada i la inversió que han originat, són superiors als de les empreses que n'han marxat. D'altra banda, crec que s'ha d'assumir amb tota normalitat el fet que les empreses localitzin la seva activitat en els indrets on aquesta activitat sigui més productiva. No solament això; hem d'ajudar perquè ho facin també les nostres empreses, ja que, en molts casos, aquesta és l'única manera de continuar competint a escala global.

Hi ha, doncs, tendències esperades i perfectament comprensibles, associades al mateix procés de progrés i creixement econòmic, que porten a una reducció relativa de l'activitat industrial i a un augment relatiu dels serveis. Ara bé, això és perfectament compatible amb el manteniment, o fins i tot el creixement en termes absoluts, de la base i del producte industrial, i també amb la millora de la productivitat. El que no hem de fer és accelerar de manera artificial aquest procés de substitució, o dificultar l'activitat industrial per raons alienes a les que acabo d'esmentar.

Aquesta última consideració és important perquè en alguns casos podria semblar que l'actuació de les administracions públiques va en la direcció d'accelerar aquest procés de deslocalització o fins i tot de fer inviables activitats industrials que són perfectament competitives. I un d'aquests casos és precisament el del sector químic i la forta regulació a què, per raons mediambientals, ha estat subjecte. Més endavant examino aquesta qüestió. Abans, però, convé repassar de manera breu les línies bàsiques de l'enfocament econòmic sobre les prestacions mediambientals.

L'enfocament econòmic sobre les prestacions mediambientals

La contaminació és una conseqüència de produir béns i serveis que són necessaris i que els ciutadans demanen. És, en realitat, un cost del procés de producció i, en principi, s'hauria de tractar com a tal. Com s'ha assenyalat, la contaminació no es pot eliminar totalment, perquè això implicaria prohibir la producció dels béns i els serveis que l'origenen, cosa que seria extremadament costosa i, de ben segur, inviable políticament. L'enfocament econòmic és reconèixer que hem de conviure amb la contaminació i buscar la manera de minimitzar-la sense perdre els beneficis de la producció i el consum dels béns i els serveis associats que reporta. El principi general per trobar el grau òptim de contaminació és fàcil d'entendre: la contaminació s'ha de reduir sempre que el benefici marginal de la menor contaminació superi el cost marginal provocat pels béns i els serveis associats no produïts. Naturalment, el principi funciona en totes dues direccions: si reduir la contaminació té com a conseqüència un cost marginal superior al benefici marginal, aleshores l'actuació no és aconsellable. Observeu que el principi no es formula en termes de magnituds totals sinó marginals. És a dir, estem parlant d'un principi que permet identificar una situació ineficient i que marca la direcció que permet mitigar, o fins i tot eliminar, aquesta ineficiència.

L'argument anterior ha estat frasejat en termes de beneficis i costos privats; és a dir, dels beneficis i els costos que recauen en l'agent que produeix els béns que generen la contaminació. Però les coses són més complicades: sovint, l'agent que genera la contaminació només percep el benefici de produir més, però no pas el cost de la contaminació, que recau en altres persones. Aquest és un punt important. La comparació apropiada no és entre costos i beneficis privats, sinó entre costos i beneficis socials; és a dir, costos i beneficis que incorporin no solament les conseqüències de l'acció sobre l'agent que l'origina, sinó sobre tota la societat. Les implicacions d'aquest gir també

són importants. Si una part dels costos o dels beneficis de les nostres accions cauen fora (si hi ha externalitats, per emprar l'argot dels economistes), les nostres decisions individuals poden ser ineficients: la contaminació pot ser diferent de l'òptima.

Les maneres de resoldre aquest problema són essencialment dues: internalitzar els costos i els beneficis (és a dir, fer que l'agent percebi totes les conseqüències de la seva actuació), o regular l'activitat en qüestió. Internalitzar costos i beneficis és més difícil del que sembla, perquè requereix que els drets de propietat sobre els béns que han estat afectats per la contaminació estiguin ben delimitats, i això no sempre passa. Si els drets de propietat estan ben definits i si els afectats són relativament pocs, en principi la solució del problema és factible: si la valoració del perjudici per part del propietari del bé afectat per la contaminació és menor que el benefici que aquesta contaminació (mitjançant la venda dels productes que l'origenen) reporta al productor, sempre hi ha un potencial acord acceptable per totes dues parts que elimina el problema.

Aquesta és la teoria; la realitat és més complicada. Un exemple senzill pot ajudar-nos a entendre-ho. Suposem que un municipi autoritza la construcció d'una planta química en un terreny rústic de la seva propietat allunyat del nucli urbà. La planta emet una lleugera contaminació odorífera que no té cap efecte sobre les activitats agrícoles que es desenvolupen al seu voltant. El posterior augment de la població, però, fa que el terreny que envolta la planta es declari urbà, i al cap d'un període de trenta anys la planta acaba estant envoltada d'habitatges. Els qui han comprat els habitatges ho han fet coneixent l'existència de la planta i de la lleugera contaminació odorífera. De fet, aquest cost es reflecteix en el preu dels habitatges que, més enllà de les diferències per la distància respecte al centre de la vila, incorpora una reducció significativa per causa de la proximitat de la planta química. Si aquí s'acabés la història, podríem concloure que la situació és d'equilibri, en tant que les expectatives de cada una de les

parts s'estan complint. L'empresa química pot dur a terme la seva activitat industrial en els termes convinguts. Els nous veïns de la planta han comprat voluntàriament els seus habitatges; per tant, hem de suposar que estan conformes amb la compensació rebuda en la forma d'un preu més baix dels habitatges en qüestió. L'Ajuntament també està satisfet perquè ha fet una bona plusvàlua amb tota l'operació. Estrictament, podríem dir que no hi cap problema de contaminació.

La història, però, no s'acaba aquí. Els veïns, que comencen a tenir un pes electoral significatiu al municipi i, per tant, una certa capacitat d'exercir pressió sobre els partits polítics corresponents, s'organitzen en contra de la planta i reclamen a l'Ajuntament que canviï l'autorització inicial i obligui l'empresa propietària a instal·lar l'equipament necessari per eliminar la contaminació odorífera. Ara sí que tenim un problema de contaminació. Les expectatives dels veïns sobre les seves propietats han canviat i la situació actual no els satisfà. A més a més, l'empresa no té una defensa clara de la seva posició. L'autorització inicial no diu res respecte a la propietat dels drets ambientals als voltants de la planta: els drets de propietat de l'atmosfera que envolta la fàbrica no estan ben definits. Si estiguessin ben definits —en el fons no importa que fossin de l'empresa o dels veïns— la via més obvia per resoldre el problema seria la negociació. Com que no ho estan, els veïns no consideren necessari negociar; simplement els reclamen fent ús del seu pes polític. Els veïns, en definitiva, estan reclamant de l'autoritat pública una nova definició dels drets de propietat sobre les condicions mediambientals de l'entorn de la planta. Si ho aconsegueixen, hi haurà un redistribució de renda en contra de l'empresa i en favor dels veïns: l'empresa haurà de suportar el cost del nou equipament i els veïns no solament deixaran de patir la contaminació sinó que també augmentarà el valor dels seus habitatges.

Per arribar a una solució eficient, és fonamental una definició exacta dels drets de propietat. No importa tant de qui siguin

aquests drets, com el fet que els drets estiguin clarament assignats a algú. Naturalment, que els drets siguin d'una part o de l'altra afecta la distribució de la renda.

La definició precisa dels drets de propietat no és l'únic problema per arribar a una solució eficient. Si en lloc d'un col·lectiu homogeni i relativament petit de veïns, com en l'exemple anterior, la contaminació afecta tota una regió i un nombre molt més gran, heterogeni i dispers de gent, articular una plataforma de pressió o plantejar una negociació seria més costós o potser impossible. D'altra banda, també es planteja un problema quan determinats canvis tecnològics fan aparèixer situacions noves en què una part pot, ràpidament i de manera molt extensa o per vies fins aleshores desconegudes, infligir costos no consentits sobre l'altra. En aquests casos, la regulació pública és la manera adequada d'afrontar la qüestió. Les administracions públiques són les que han d'establir normes que limitin l'abast de la contaminació.

La regulació pot emprendre dues accions bàsiques: restriccions quantitatives o imposició de taxes. La via de les restriccions quantitatives és la més habitual i senzilla d'aplicar, però no sempre la més adient. Aquest mètode normalment no minimitza el cost unitari de la reducció de contaminació perquè no ofereix cap incentiu als agents per buscar i adoptar la manera més econòmica de fer-ho. Tampoc no garanteix que els límits siguin els que es corresponen amb els nivells òptims de contaminació. Per ser adequada, una política de límits quantitativa necessitaria un volum d'informació respecte als processos productius que les administracions públiques simplement no tenen. Aquesta falta d'informació queda pal·liada en part en el cas dels impostos. L'Administració no sap quin és el cost de reduir la contaminació d'un producte determinat; un impost introdueix un cost addicional a la producció de determinats productes, o a l'emissió de determinats contaminants, que indueixen el productor, que és qui té la informació, a adoptar mesures de restricció mitjançant un descens

de la producció o la introducció de mecanismes mitigadors de les emissions de la manera més eficient possible. Evidentment, per fixar els impostos adequats també es necessita informació. Si l'impost fos igual al cost que la contaminació carrega sobre tercers, la regulació seria perfecta, en tant que l'externalitat derivada de la producció hauria estat totalment internalitzada pel productor. A la pràctica, aquesta circumstància es dona molt poques vegades.

No totes les formes d'actuar es corresponen amb els dos casos purs acabats d'analitzar. Una forma mixta que ha esdevingut freqüent ens els darrers temps és la de combinar restriccions quantitatives amb elements que representin un incentiu. El mecanisme de comerç de drets d'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle que s'ha posat en marxa a la Unió Europea n'és un exemple.³ El sistema incorpora elements de restriccions quantitatives en tant que la distribució inicial de drets d'emissió s'ha fet en termes de volums de producció existents i d'altres criteris. Però el fet que aquests drets després puguin ser negociats en un mercat formal permet donar-los un valor que actua com a referència per ordenar el comportament dels agents productors. El preu depèn del nombre de drets inicialment assignats respecte de la producció inicial, i de la demanda i l'oferta d'aquests drets que el mercat genera, darrere de les quals hi ha les decisions de produir, respectivament, més o menys que en la situació inicial de referència. Com quedaran assignats finalment els drets, dependrà del comportament dels productors. A un determinat preu, els drets aniran a parar als fabricants que fins i tot després de suportar el preu del dret puguin obtenir un benefici, i sortiran d'aquells que tindrien pèrdues si paguessin el dret. El volum de drets inicialment posats al mercat determina la reducció global de les emissions; les transaccions posteriors d'aquests drets determinen que, com a resultat del comportament dels mateixos productors, aquesta reducció es faci a través dels productes de menys valor afegit, o de les instal·lacions menys productives, i que això sigui compatible amb l'augment del volum dels

productes més rendibles i l'increment d'utilització de les instal·lacions més eficients. El mecanisme, en definitiva, porta a una assignació coherent amb el principi d'eficiència.

El sector químic

Quins són els reptes als quals, en vista de les consideracions anteriors, s'enfronta el sector químic en matèria mediambiental? Aquesta és la qüestió central d'aquest article. Abans d'abordar-la, però, és pertinent fer una breu descripció del sector químic espanyol. No es tracta tant d'una anàlisi en profunditat, com de quatre pinzellades (exactament quatre) amb la intenció de posar en relleu la importància d'aquest sector i algunes de les seves característiques, que no són gaire conegudes.

Primera pinzellada: estem parlant d'un sector molt important des del punt de vista de generació de riquesa. Concretament,

genera l'11,3% del producte industrial brut espanyol (el 44% del qual es produeix a Catalunya) i exporta quasi la meitat de la producció. De fet, el sector químic és, després del sector de l'automòbil, el segon exportador més gran de l'economia espanyola.

Segona pinzellada: el sector químic és un gran generador d'ocupació estable. Tot i ser un sector molt intensiu en capital, ocupa directament 167.600 treballadors i genera al voltant de 500.000 llocs de treball si comptem també l'ocupació indirecta i induïda. Però el que és realment remarcable és l'estabilitat d'aquesta ocupació. En aquest sentit, la taxa de temporalitat laboral en el sector del turisme és del 40%; en el conjunt de l'economia, del 35%; i en la totalitat del sector industrial, del 25%. Doncs bé, en el sector químic la temporalitat és només del 9%.⁴

La tercera pinzellada és que la indústria química és un sector innovador. Entre el

2005 i el 2009, el sector va invertir en recerca, desenvolupament i innovació uns 4.320 milions d'euros, que representa més d'una quarta part del total de la inversió de la indústria espanyola en aquesta matèria, i va ocupar el 20,2% dels investigadors contractats per la indústria espanyola.

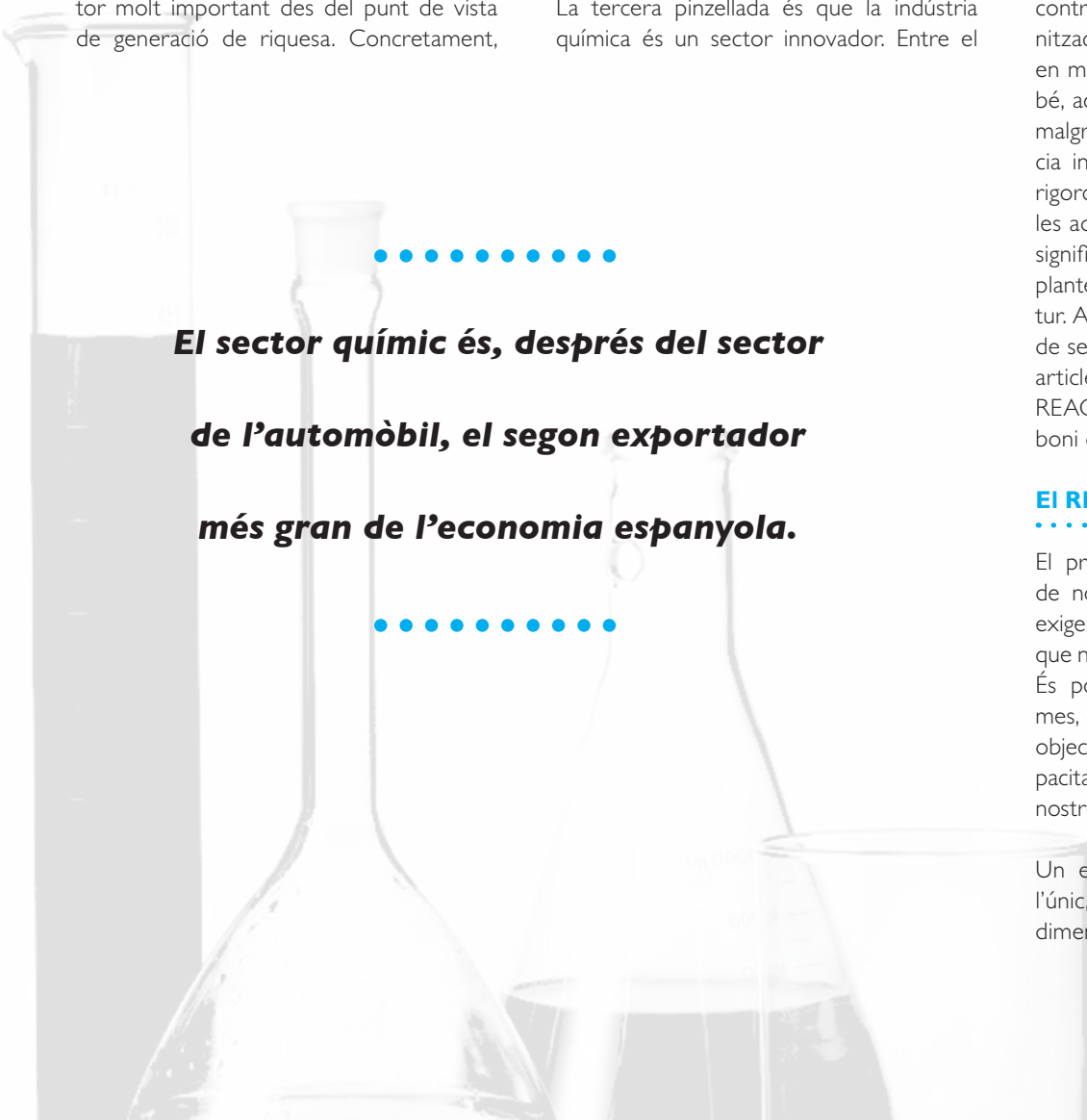
La quarta i última pinzellada és que el sector químic no és, contràriament al que es pensa, un sector de grans empreses multinacionals. En termes de nombre i dimensió, el sector químic és fonamentalment un sector de petites i mitjanes empreses. Concretament, el 85% de les empreses químiques espanyoles tenen menys de 50 treballadors.

Així doncs, estem parlant d'un sector que crec que legítimament pot considerar-se important per a la nostra economia, que ha contribuït de manera decisiva a la modernització de la indústria i que és capdavanter en matèria d'innovació tecnològica. Doncs bé, aquest sector és també un sector que, malgrat l'exposició plena a la competència internacional, està sent sotmès a una rigorosa actuació reguladora per part de les administracions públiques, que incideix significativament en la seva competitivitat i planteja reptes importants amb vista al futur. A títol d'exemple, i sense cap pretensió de ser exhaustiu, vull considerar en aquest article tres d'aquests reptes: el Reglament REACH, el canvi climàtic i la petjada de carboni del sector químic.

El REACH

El primer punt és la generació constant de normes reguladores cada vegada més exigents procedents de la Unió Europea, que no tenen contrapartida en altres països. És poc comprensible que aquestes normes, que, atesa la seva naturalesa unilateral, objectivament restringeixen i limiten la capacitat competitiva del sector, vinguin de les nostres mateixes institucions comunitàries.

Un exemple paradigmàtic, tot i que no l'únic, és el REACH, el nou i vast procediment de registre, avaluació i autorització



El sector químic és, després del sector de l'automòbil, el segon exportador més gran de l'economia espanyola.

• • • • •

**La indústria química
està d'acord que
hi hagi informació
pública sobre les
característiques i els
riscos potencials de les
substàncies químiques.**

• • • • •

de productes químics a Europa. La indústria química està d'acord que hi hagi informació pública sobre les característiques i els riscos potencials de les substàncies químiques, i que la producció i la importació estiguin sotmeses a un procediment de registre i, fins i tot, en el cas d'aquelles substàncies que presenten més risc, a un procediment d'autorització. De fet, el sector ha col·laborat de manera molt intensa en el procés d'elaboració d'aquesta norma i creiem que el resultat final és significativament millor que les propostes inicials avançades per la Comissió Europea.

Ara bé, que aquests objectius s'hagin plantejat fent *tabula rasa* de tots els procediments anteriors de control de substàncies químiques; que el registre afecti unes 30.000 substàncies, per a la gran majoria de les quals s'haurà de dur a terme un llarg i costós procés de proves de laboratori; que el registre, l'avaluació i l'autorització es refereixin, no solament a la substància, sinó també al productor (la qual cosa pot representar en molts casos la repetició múltiple del procediment per a una mateixa substància, tret que es faci de manera consorciada per un grup d'empreses), i finalment, que per endegar tot això s'hagi hagut de crear una nova agència reguladora, que ocupa 456 persones; tot plegat és una operació de tal envergadura que dubto que els beneficis que es derivin d'aquest procediment puguin compensar els costos de posar-lo en marxa.

I aquests són els costos directes de l'operació. Hi ha també costos induïts, que en alguns casos poden ser tan elevats com els directes, o fins i tot més. Per a les empreses petites o mitjanes (i abans he remarcat que n'hi ha moltes en el sector químic), particularment si aquestes tenen una cartera àmplia d'especialitats, el compliment del REACH pot representar uns costos molt importants en termes relatius, que poden posar en dubte la seva viabilitat econòmica. Per fer front a això, la Federació Empresarial Catalana del sector Químic (FedeQuim), en col·laboració amb la Generalitat, el Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya

i l'IQS, va posar en marxa un sistema d'assistència i informació denominat InfoREACH que serveix per ajudar les empreses a complir els requisits exigits pel REACH. Aquesta és una iniciativa pionera al mercat espanyol, que naturalment servirà d'exemple per a altres actuacions similars en l'àmbit nacional.

D'altra banda, l'efecte del REACH sobre la competitivitat internacional de la indústria química europea està pendent d'avaluar. No obstant això, les estimacions fetes pel sector i les empreses de consultoria calculen que l'aplicació del REACH tindrà un cost d'entre un 0,25% i un 3% de la xifra de negocis de les empreses, depenent de cada empresa, la qual cosa representa un cost d'entre 1.000 i 15.000 milions d'euros per al conjunt del sector químic europeu. D'entrada, sabem que aquests són costos addicionals que els nostres competidors americans i asiàtics no hauran de suportar. És veritat que el procediment és aplicable també a aquelles empreses no europees que exportin els seus productes a Europa. Però, si en lloc d'exportar-los directament, els exporten incorporats com a matèria primera de productes manufacturats, la substància en qüestió haurà entrat a Europa suportant uns costos més baixos que els dels productors europeus. Fins i tot pot passar que substàncies que no han estat autoritzades pel REACH acabin circulant i sent consumides a Europa com a components de productes importats. En ambdós casos és evident que s'introdueix un incentiu a la deslocalització d'empreses manufactureres que utilitzen productes químics cap a fora d'Europa. El resultat més probable d'aquesta iniciativa serà que el perseguit guany de seguretat quedarà extremadament difuminat, si no eliminat, però la pèrdua de competitivitat serà clara i palesa.

L'exemple del REACH és paradigmàtic perquè una de les seves característiques —la forma contundent i l'abast amb què es dissenya i s'aplica— és compartida per pràcticament totes les regulacions en matèria mediambiental. L'enfocament gradual, amb les anàlisis dels costos i els beneficis de cada una de les normes aplicades corresponents, no és evidentment la característica distintiva de la política mediambiental europea.

Això em porta al segon repte que vull tractar en aquest article: em refereixo a la qüestió del canvi climàtic i a la política de limitació d'emissions de diòxid de carboni i d'altres gasos d'efecte d'hivernacle (d'ara en endavant, «GEH»).

Canvi climàtic

.....

D'entrada és important assenyalar que, pel que fa a la limitació de les emissions de GEH que es deriva del Protocol de Kyoto, inicialment per al període 1990-2012, el sector químic espanyol està complint amb escriu els compromisos adquirits pel nostre país. La previsió general i actual per a tots els sectors és que, malgrat els objectius establerts per Espanya (increment màxim de les emissions del 15% respecte als nivells del 1990), acabarem incrementant les emissions per sobre del 30% (el 2009, l'increment ja era del 26,8%). Per contra, en aquest mateix període, es preveu que el sector químic no solament complirà l'objectiu marcat, sinó que reduirà les seves emissions per sobre del 50%.⁵

Amb això no vull concloure ni molt menys que el comportament d'altres sectors de l'economia espanyola en aquest aspecte sigui criticable. Simplement deixo constància de l'esforç fet pel sector químic en la reducció de les emissions de GEH, que, de fet, i això és el que importa, no és gaire diferent de les millores obtingudes en altres paràmetres mediambientals. Concretament, i com posa de manifest l'últim informe del programa Responsible Care per a la protecció del medi ambient, des de l'inici de l'aplicació el 1993 fins al 2005 les empreses químiques hem reduït les nostres emissions en un 56% i els abocaments en un 84% per cada tona produïda. Coherentment amb aquests resultats, no hauria de sorprendre que el 18,9% del volum invertit a Espanya en matèria mediambiental provingui del sector químic, que entre el 2004 i el 2008 va representar 2.103 milions d'euros.

En matèria de canvi climàtic, la contundència i l'abast absolut que acostuma a caracteritzar les normes mediambientals es donen de

manera extrema. Sembla com si en aquest cas la reducció de les emissions en una determinada magnitud fos l'únic objectiu existent; i com si aquest objectiu s'hagués d'aconseguir de la manera més ràpida possible i a qualsevol cost. Però està clar que, quan aquest és l'enfocament, quan es vol que tota l'atenció de la societat s'orienti en una sola direcció, deixant de banda altres problemes i altres necessitats, ja no estem parlant d'una qüestió tècnica o econòmica, i ni tan sols d'una qüestió política, tal com aquest terme s'entén en una societat democràtica. Aleshores estem parlant d'alguna cosa essencialment diferent; d'alguna cosa que té més a veure amb una croada ideològica que amb un problema d'assignació de recursos escassos a objectius alternatius.

He assenyalat més amunt que, amb independència del fet que em senti satisfet de les millores del sector químic, no voldria de cap de les maneres fer un judici de valor sobre el desviament a l'alça de les emissions globals espanyoles. I no voldria fer-ho perquè crec que estem davant d'una qüestió controvertida i delicada.

Controvertida perquè no està cent per cent clar que la Terra s'estigui escalfant i que aquest escalfament sigui conseqüència de l'acció de l'home. Sabem algunes coses de manera contrastada i científica, però són fets parcials que encara semblen insuficients per tenir una idea clara i definitiva del que està passant. Sabem que la temperatura mitjana de la Terra ha augmentat al llarg de l'últim segle i que la pujada ha estat de menys d'un grau. Ara bé, ni aquest augment ha estat sostingut (va pujar del 1920 al 1940, va baixar dels anys quaranta als setanta, va tornar a pujar dels setanta a 1998, i des d'aleshores està pràcticament estable), ni la perspectiva temporal és prou llarga per estar segurs si aquest patró forma part de la variació natural climàtica de la Terra o si la pujada de menys d'un grau està marcant una nova tendència històrica.

D'altra banda, sabem que el nivell de diòxid de carboni a l'atmosfera ha augmentat, que el diòxid de carboni reté raigs infra-

.....

**L'emissió de gasos
d'efecte d'hivernacle
no és bona, però no
sabem si és prou gran
per tenir un efecte
sobre la temperatura
de la Terra.**

.....



**L'acord de la Unió
Europea en el marc
del Protocol de Kyoto
estableix per al 2012
que Alemanya tindrà
més drets d'emissió per
habitant que Espanya.**



rojos i que, per tant, en principi l'emissió d'aquest i d'altres gasos similars podria contribuir a l'escalfament de la Terra. Però la relació causa–efecte entre l'emissió de diòxid de carboni i l'escalfament no s'ha pogut establir empíricament i de moment es basa en models purament teòrics. Dit en paraules més planeres, sabem que l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle no és bona, però no sabem si és prou gran per tenir un efecte sobre la temperatura de la Terra, la tendència de la qual, d'altra banda, tampoc no podem establir amb certesa.

Podem concloure, segons aquesta evidència, que l'acció de l'home està escalfant la temperatura de la Terra? Aquí hi ha respostes per a tots els gustos. Hi ha científics que ni tan sols creuen que la Terra s'estigui escalfant; n'hi ha d'altres que creuen que es pot estar escalfant, però que, en comparació d'altres efectes naturals, l'acció de l'home no és significativa; n'hi ha que creuen que hi ha un escalfament que no es pot explicar i, per eliminació, l'atribueixen a l'acció de l'home; i finalment hi ha científics que realment pensen que la Terra s'està escalfant i que l'acció de l'home n'és la causa. Naturalment, no estic en condicions d'avaluar les diverses posicions, però sí de constatar que l'acord està lluny de ser unànim.

Els nombres que hem de retenir són els següents: mesurada en termes de parts per milió (ppm), s'estima que, abans de la revolució industrial (cap al 1750), la concentració de GEH a l'atmosfera era de 280 ppm; el 2006, la concentració era de 380 ppm. Els últims 250 anys, doncs, els GEH han augmentat al voltant de 0,1% per any. Evidentment, aquest és el creixement mitjà en un període molt llarg. Si ens apropem una mica més a l'actualitat veiem que la concentració creix cada vegada més ràpidament.

Del 1956 al 2006, la concentració ha passat de 315 ppm a 380 ppm; és a dir, una taxa mitjana de creixement anual de gairebé el 0,4%. En aquests moments, l'augment és aproximadament del 0,5% per any.⁶ Sobre aquestes xifres no hi ha cap disputa. Les

prediccions, naturalment, ja són més hipotètiques, però l'ordre de les magnituds i les relacions entre taxes de creixement i nivells de concentració no ofereixen gaires dubtes: si es mantingués constant la taxa de creixement actual del 0,5%, el carboni a l'atmosfera es doblaria en uns 140 anys. I si la taxa fos del 0,7%, el doblament es produiria en 100 anys.

La concentració de carboni a l'atmosfera és un fet indefugible. Ara bé, quin efecte té aquesta concentració sobre l'escalfament de la Terra? El 1979, un comitè de l'Acadèmia Nacional de Ciències dels EUA (NAS, per les sigles en anglès) va estimar que un doblament de la concentració de GEH a l'atmosfera tindria com a conseqüència un augment de la temperatura de 3 graus centígrads, amb un marge d'error de +/- 1,5 graus. El 1982, un altre comitè de la mateixa acadèmia va confirmar l'estimació anterior. Estimacions posteriors estan bàsicament d'acord amb aquest resultat. La darrera és l'últim informe (2007) del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (GIECC o IPCC per les sigles en anglès), que prediu, amb marges d'error similars als de la NAS, que l'any 2100 la temperatura mitjana de la Terra haurà augmentat 2,6 graus respecte a l'actual.⁷

El primer que voldria assenyalar sobre aquestes estimacions és l'alt grau d'incertesa que les envolta. Estem parlant d'estimacions que van des d'increments d'1,5 fins a 4,5 graus: el valor màxim del rang triplica el valor mínim. El segon punt és que cap dels models utilitzats no prediu canvis dràstics. Estem parlant de canvis graduals, al llarg de períodes molt llargs. El tercer punt és que les estimacions són d'increments mitjans de temperatura. Com es traslladarà aquest augment a un canvi de clima és una qüestió complexa, en què intervenen molts altres factors i sobre la qual els mateixos científics acostumen a mostrar molta més cautela a l'hora de fer prediccions. Les prediccions, considerades pel que estrictament diuen, apunten a un augment de la temperatura gradual al llarg del segle, que de mitjana

podria excedir en dos graus i mig la temperatura actual, però que també es podria quedar al voltant d'un grau, una situació no gaire diferent del que ha passat al segle xx. Què passarà en termes de clima ja és més incert. Algunes àrees seran més càlides i d'altres menys fredes. En termes d'esperança de vida, aquest no sembla un canvi insuportable: en l'actualitat (incloent-hi els països avançats) moren més persones per excés de fred que de calor. En termes de moviments migratoris, el canvi tampoc no sembla gaire significant si el comparem amb les grans onades dels segles xix i, particularment, del xx. En termes de capacitat productiva, l'efecte d'un canvi d'aquesta magnitud seria nul per als països avançats, però pot ser significatiu per als països en vies de desenvolupament, molt més dependents de l'agricultura. Finalment, en l'actualitat, la capacitat d'adaptació a un clima més càlid és molt gran, tot i que s'ha de reconèixer que aquesta capacitat varia significativament entre els països avançats i els que no ho són.⁹

He assenyalat abans que el canvi climàtic, a més de ser una qüestió controvertida, és una qüestió delicada. I ho és perquè, sobre la base de l'evidència que acabo de repassar, s'està configurant (amb el suport dels estaments polítics de molts països) una plataforma ideològica orientada a promoure la necessitat d'actuacions molt immediates i de molta envergadura (i per tant d'un cost considerable) per fer front a un canvi de naturalesa gradual, d'una magnitud que no ha de ser gaire diferent d'altres canvis experimentats en el passat, i que en tot cas està sotmès a un notable grau d'incertesa respecte al seu abast. Això planteja, com ara argumentaré, dificultats ètiques extremadament importants. No dispo de l'espai ni de la capacitat per aprofundir en aquestes dificultats, però sí que voldria fer un parell de comentaris per posar en relleu que no es tracta d'una qüestió filosòfica; es tracta de dificultats ètiques molt reals, molt properes i que poden tenir conseqüències significatives.

Per exemple, l'acord de la Unió Europea en el marc del Protocol de Kyoto estableix per al 2012 que Alemanya tindrà més drets d'emissió per habitant que Espanya. L'argumentació que ha portat a aquest acord és molt senzilla: Alemanya té una base industrial més gran que Espanya; el seu nivell històric d'emissions és més gran; i, per tant, tot i demanant-li en el període 1990-2012 una contenció més forta que a Espanya, el seu nivell final de drets d'emissió serà, per habitant, superior al nostre. És això just? És difícil i subjectiu parlar de justícia, però s'ha d'admetre que com a mínim és una mica xocant. En essència, això significa que, *ceteris paribus* i a causa d'aquest acord, Espanya no pot aspirar a desenvolupar-se industrialment fins als nivells assolits per Alemanya. O, més ben dit, pot aspirar a aquests nivells però pagant; és a dir, comprant drets d'emissió al mercat.

Aquest és naturalment un exemple menor i anecdòtic, però en essència no del tot diferent dels dilemes ètics que es plantegen quan els països desenvolupats volen obligar la Xina, l'Índia o qualsevol altre país en vies de desenvolupament a frenar de manera significativa el seu procés d'industrialització amb l'argument que la Terra s'està escalfant. Això ens porta a una altra característica del canvi climàtic que rau en la base de les dificultats amb què els governs es troben a l'hora de dissenyar una política eficaç per controlar les emissions de GEH. El fenomen és de caràcter totalment global. Les nostres emissions afecten tots els països del món i les emissions de qualsevol país, per allunyat que estigui de nosaltres, ens afecten a tots. Una política eficaç haurà de ser per força una política global.

Un altre exemple. L'Informe Stern,¹⁰ encarregat pel Govern britànic, i que es va presentar amb un gran desplegament mediàtic, proposa la necessitat d'actuar de manera immediata i contundent, amb una despesa anual al voltant de l'1% del PIB mundial, com a manera d'evitar uns costos potencials del canvi climàtic que, segons estima l'informe, poden arribar a ser del 5% al 20% del PIB.

Deixant de banda la fiabilitat d'aquests costos veritablement catastròfics, una despesa anual de l'1% del PIB mundial és una despesa molt considerable. La pregunta clau aquí és la següent: tan certs són els costos futurs que es volen evitar per assumir ara aquest sacrifici tan gran? I la resposta naturalment depèn de quins criteris utilitzem per comparar el benestar de la generació present amb el benestar de les generacions futures. O, per dir-ho en termes més tècnics, depèn de la taxa de descompte que s'utilitzi per homogeneïtzar valors presents i futurs. La taxa de descompte que l'Informe Stern utilitza és extremadament baixa, la qual cosa implica que, en les valoracions que fa aquest informe, les generacions futures són pràcticament tractades com si ja estiguessin aquí entre nosaltres. Però evidentment això no és així. Les generacions futures seran més riques que nosaltres, tindran més possibilitats al seu abast, i és molt probable fins i tot que comptin amb tecnologies avui desconegudes i vastament més eficients que les actuals en matèria d'eficiència energètica i d'emissions de diòxid de carboni.

El dilema ètic el tenim, doncs, servit: és just reduir ara el nostre benestar i endarrerir el desenvolupament dels països més pobres a causa d'un problema la certesa i la magnitud del qual no estan contrastades, per beneficiar unes generacions futures que potser tindran mitjans infinitament millors que els nostres per lluitar contra el canvi climàtic?

He de confessar que no tinc clar quina és la resposta a aquest tipus de preguntes i que, per tant, em sorprèn que d'altres, com per exemple els autors de l'Informe Stern, vegin les coses de manera tan clarivident per llençar amb una seguretat aclaparadora propostes que si s'acaben aplicant poden tenir efectes molt negatius per al benestar actual. Dit això, tampoc no voldria que aquestes reflexions fossin mal interpretades. Prendre mesures que limitin les emissions és segurament una estratègia correcta; però també ho és actuar amb cautela i moderació, i reconèixer que hi ha altres objectius referits al benestar de la

● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

***Els plàstics utilitzats
en automòbils
redueixen el pes i,
per tant, el consum
de combustible.***

● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

generació actual que també s'han de tenir en compte.

La petjada de carboni del sector químic
.....

Un exemple d'aquesta cautela i moderació el dona el sector químic. Ja he destacat més amunt la diligència del sector pel que fa al compliment dels requeriments d'emissió de GEH de l'acord de la Unió Europea en el marc del Protocol de Kyoto. Ara voldria destacar un altre aspecte, d'una gran transcendència pràctica però totalment desconegut pel gran públic. La fabricació de productes químics té dos efectes sobre les emissions de GEH. D'una banda, la producció en si comporta emissió de GEH, però, de l'altra, l'ús de molts d'aquests productes permet una reducció significativa del volum global d'emissions de GEH. I el que és més important: en el còmput global dels productes que fabrica el sector químic, la reducció d'emissions és superior al volum emès durant la producció. Dos exemples seran suficients per veure de què estem parlant. Tots els productes químics que milloren l'aïllament dels habitatges (escumes i foam entre parets, PVC per a tancaments i finestres, etc.) tenen un impacte significatiu en la despesa d'energia per refrigeració o calefacció. Els plàstics utilitzats en automòbils redueixen el pes i, per tant, el consum de combustible. En ambdós casos es produeix un estalvi clar d'energia i, per tant, d'emissions de GEH, que en rigor ha de ser comptabilitzat a l'hora de mesurar l'impacte de la indústria química sobre les emissions de GEH.

El Consell Internacional d'Associacions Químiques (ICCA, per les sigles en anglès d'International Council of Chemical Associations), en la línia del programa Responsible Care, que n'és promotor i coordinador mundial, ha encarregat un estudi sobre aquesta qüestió, del qual ja tenim resultats preliminars. El programa Responsible Care obliga la indústria química mundial a un procés continu de millora en tots els aspectes que fan referència a la salut, la seguretat i les prestacions mediambientals. I és en aquest sentit que la indústria

química assumeix la seva responsabilitat per contribuir a la mitigació de l'escalfament de la Terra. En particular, els objectius són reduir les emissions pròpies de GEH a través de la millora dels seus processos productius, i promoure l'ús de productes químics que generin una emissió neta negativa de GEH al llarg de tota la seva cadena de valor.

L'estudi en qüestió desenvolupa una metodologia denominada «CO₂e life cycle analysis», que permet mesurar les emissions netes associades a la producció de la indústria química. L'estudi té en compte totes les emissions de la indústria i, per mesurar l'estalvi d'emissions, aplica aquesta metodologia a més de cent productes que cobreixen la pràctica totalitat dels productes l'ús dels quals permet estalviar emissions. L'estalvi es mesura comparant les emissions de la indústria química en la fabricació del producte en qüestió, amb les que es produirien aplicant la millor alternativa no química que preservés l'actual estil de vida de la nostra societat.

L'estudi cobreix un camp molt ampli i avança prediccions basades en escenaris alternatius que tenen un gran valor informatiu i prospectiu. El que aquí interessa, però, és l'avaluació de l'impacte net actual. El 2005, les emissions de GEH del sector químic mundial van ser de 3.300 milions de tones de CO₂e (unitats equivalents de CO₂) amb un marge d'error de +/- 25%. D'aquestes emissions, 2.100 milions de tones són atribuïbles als processos de producció pròpiament dits, i els 1.200 milions restants, a la fase d'extracció de les matèries primeres i dels fuels utilitzats, i a l'eliminació de residus i dels productes al final de la seva vida útil. D'altra banda, l'estalvi brut d'emissions va ser de 8.500 milions de tones.¹¹ És a dir, d'acord amb aquest estudi, el 2005 el sector químic mundial va contribuir a estalviar en termes nets 5.200 milions de tones d'emissions de GEH. L'estudi reporta el resultat en termes de la taxa bruta d'estalvi: cada tona de GEH emesa pel sector químic va permetre l'estalvi de 2,6 tones d'emissions per la via dels productes i les tecnologies que aquest sector proporciona a altres indústries o consumidors finals.

Sens dubte, aquestes xifres estan subjectes al marge d'error detallat més amunt i als supòsits emprats per avaluar els estalvis. Tot i així, són xifres impressionants que permeten veure l'activitat del sector químic des d'una perspectiva totalment diferent i certament esperançadora.

Les aplicacions químiques que, segons aquest estudi, generen més estalvi són l'aïllament d'edificis i habitatges (un 40% de l'estalvi identificat) i un seguit de productes amb contribucions menors, que per ordre d'importància són: fertilitzants i protecció de collites, il·luminació, embalatge, tèxtils sintètics, automòbils, detergents de baixa temperatura, eficiència de motors i canonades de plàstic.

La política energètica europea

L'últim aspecte que vull tractar en aquest article és la política energètica europea i l'augment significatiu de costos que els últims anys el sector ha hagut de suportar en matèria de gas i electricitat. El problema en aquest cas és que, tot i que l'energia és un *input* fonamental de l'activitat industrial, la generació de la qual origina un volum

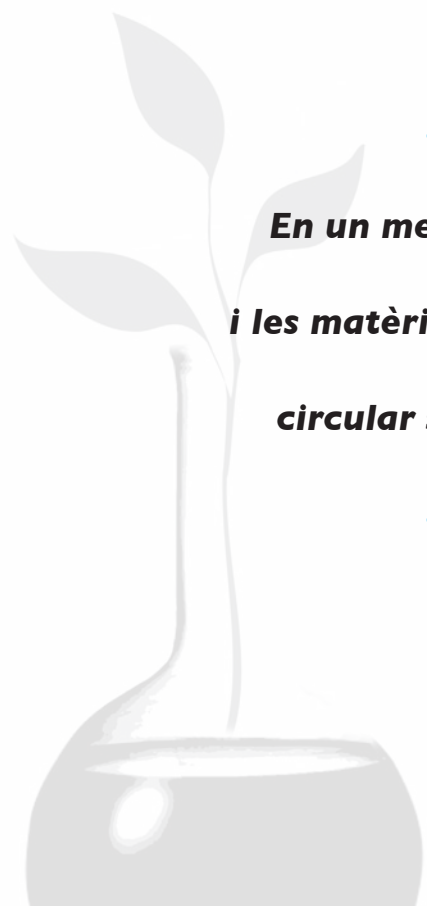
important d'emissions de GEH, el mercat europeu de l'energia no existeix com a tal.

L'any 1992 es va posar en marxa el mercat únic europeu. Avui, quinze anys després, aquest mercat únic és una realitat per a tots els productes menys per a l'energia i, en particular, per a l'electricitat. En aquest últim cas, ens trobem amb una sèrie de mercats nacionals estancs, sense connexió significativa entre ells, sovint dominats per molt pocs proveïdors i amb preus diferents d'un país a l'altre.

Això és un problema important perquè distorsiona greument, no solament la competència, sinó també l'eficiència amb què els recursos són assignats. En un mercat únic els productes i les matèries primeres han de poder circular sense cap impediment; tots els productors han de gaudir de les mateixes condicions, tant pel que fa als seus *outputs* com pel que fa als seus *inputs*. Doncs bé, a Europa, i a Espanya en particular, aquestes condicions no es compleixen. A Espanya, la gran indústria bàsica, que és una gran consumidora d'electricitat, ha de treballar en condicions de rabiosa competència internacional pel que fa als seus

productes i, en canvi, no pot gaudir de les mateixes condicions d'abastiment que els seus competidors europeus pel que fa a un *input* tan important com l'electricitat. Concretament, si no estem d'acord amb el preu del megawatt hora, no tenim la possibilitat de buscar altres proveïdors més enllà de les nostres fronteres, perquè simplement no hi ha possibilitat física significativa de transportar electricitat des de la xarxa europea fins al mercat peninsular.

Aquesta és una situació reconeguda tant pel Govern espanyol com per les autoritats comunitàries, que implica ineficiències importants pel que fa a la qüestió que aquí ens ocupa. Idealment, el que voldríem és que la producció europea d'electricitat es fes amb les tècniques més eficients i que, per tant, subjecta a aquesta eficiència, es minimitzessin les emissions de GEH. Això no ho pot assolir un mercat segmentat com l'europeu, en què la protecció comercial inherent permet l'explotació continuada de tècniques de generació poc eficients i poc respectuoses amb el medi ambient. Si tenim en compte que la generació d'electricitat és, després del transport, el sector industrial amb més emissions, és fàcil veure la urgència



.....

**En un mercat únic els productes
i les matèries primeres han de poder
circular sense cap impediment.**

.....



No pot ser que l'energia nuclear, que no genera emissions de gasos d'efecte d'hivernacle, sigui avui considerada un tema tabú per una gran part de la classe política espanyola.



d'ordenar les condicions de competència d'aquesta activitat.

Les autoritats comunitàries, que són les que tenen la responsabilitat del mercat únic europeu, a part de reconèixer el problema han fet molt poca cosa per resoldre'l, atès que l'energia és competència dels estats membres. Fins ara, els diferents paquets de mesures encaminades a la construcció d'aquest mercat únic, i en particular els propòsits d'augmentar de manera significativa la capacitat de la connexió entre Espanya i França, s'han quedat només en paraules. Totes les propostes s'han estavellat contra la resistència dels governs nacionals per mantenir l'*status quo*, i a hores d'ara és evident que la resolució del Consell Europeu de Ministres d'Energia d'aconseguir una capacitat d'interconnexió de, com a mínim, el 10% del mercat abans del 2012, no es complirà. Després de l'intent fallit d'aprovar una constitució europea, la incapacitat de crear un mercat europeu de l'electricitat és potser el segon fracàs més gran de la Unió Europea.

A més de les ineficiències pròpies d'aquesta situació de mercats estancs, les empreses generadores s'enfronten a impediments significatius a l'hora d'adoptar la tecnologia que es consideri més adient. En aquest cas la culpa no la podem atribuir a Brussel·les, cosa que s'ha de reconèixer que és un recurs còmode per a tothom, sinó que l'hem de situar en els estats membres que han prohibit la tecnologia nuclear: la manera més econòmica i ecològicament més neta de produir electricitat està barrada o fortament limitada en molts països de la Unió, entre els quals hi ha Espanya.

En una Europa on la dependència externa en matèria d'energia és molt fràgil i gairebé total, aquesta situació és difícil d'explicar. El suport dels estaments polítics d'alguns països a les posicions dels moviments antinuclears de fa unes dècades i la consegüent pedagogia política que aleshores es va fer a la ciutadania, ens ha portat a una situació que no té una solució fàcil, perquè avui dia, acceptem-ho, l'opinió majoritària està en contra de l'energia nuclear. Ara bé, ens ha

portat també a una situació davant la qual no podem restar impossibles.

El debat nuclear s'ha de tornar a obrir en totes les dimensions, sense límits ni idees preconcebudes i com abans millor, i hem d'estar preparats per assumir-ne totes les conseqüències. No fer-ho és ignorar una manera eficaç de lluitar contra el canvi climàtic. No pot ser que l'energia nuclear, que no genera emissions de gasos d'efecte d'hivernacle, el cost de la qual és molt econòmic, que permet una independència significativa de les turbulències que avui afecten el marc geopolític mundial i respecte a la qual s'han fet enormes avenços en matèria de seguretat i emmagatzematge de residus, sigui avui considerada per una gran part de la classe política espanyola com un tema tabú.

Conclusions

L'activitat industrial continua i continuarà sent important per al nostre país, perquè crea valor i perquè proporciona ocupació de qualitat. I dins d'aquesta activitat industrial, el sector químic és un exemple bastant clar, no solament de contribució a la salut, la prosperitat i el benestar de tots els ciutadans, sinó també de capacitat d'adaptació a nous entorns de competència i a noves normes reguladores.

Espero que els arguments i les dades aportats en aquest article hagin estat suficients per il·lustrar l'immens esforç inversor que el sector està portant a terme en matèria mediambiental i en desenvolupament sostenible, i també per persuadir el lector de la necessitat de cautela i prudència en l'adopció de mesures reguladores i polítiques per lluitar contra el canvi climàtic per part de les nostres administracions públiques.

No estic segur d'haver explicat adequadament quines són les bases morals del comportament de la indústria química, ni sé amb certesa si les expectatives de la mirada ètica que el títol prometia han estat satisfetes. És una ètica molt particular la que he utilitzat en aquesta nota: l'ètica de l'efici-

ència econòmica, del respecte a la llibertat de contractar, de la convicció que els efectes de la regulació sobre la distribució de la renda són importants, i de la necessitat de contraposar els costos i els beneficis de les nostres actuacions. Una ètica que mira cap al comportament individual, però que no defuig les implicacions socials d'aquest comportament, i que valora de manera prominent el progrés i el benestar dels ciutadans. Una ètica que pot ser útil per reflexionar sobre el medi ambient. ●

Referències

- ¹ No hi ha traducció castellana (o catalana) de la denominació d'aquest programa. La denominació anterior, «Compromisos per al progrés», va ser abandonada fa uns anys en favor de la denominació anglesa original per dotar el programa d'una homogeneïtat nominal en tots els països on s'aplica.
- ² Estic deixant de banda en aquest article els efectes de l'actual crisi econòmica, que espero que seran de naturalesa conjuntural, encara que no en puc estar totalment segur.
- ³ Més endavant s'analitza la qüestió del canvi climàtic.
- ⁴ Excepte les taxes de temporalitat que fan referència al 2009, les altres xifres corresponen a l'any 2010.
- ⁵ Vegeu *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España e información adicional. Años 1990-2009*, editat per la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic del Ministeri de Medi Ambient, i Medi Rural i Marí, l'abril del 2011.
- ⁶ Vegeu DOW, K.; DOWNING, T. E. *The Atlas of Climate Change. Mapping the World's Greatest Challenge*, Myriad Editions, Londres, 2007, i SCHELLING, T. C. «Some Economics of Global Warming», *American Economic Review*, 82:1-14, 1992.
- ⁷ IPCC, *Climate Change 2007: WGI: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- ⁸ Vegeu LOMBORG, B. *En frío. La guía del ecologista escéptico para el cambio climático*, Espasa Calpe, Madrid, 2008.
- ⁹ Vegeu SCHELLING, T. C. Op. cit.
- ¹⁰ *The Economics of Climate Change. The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- ¹¹ L'estudi considera també el cas dels estalvis quan s'exclouen els fertilitzants químics i els protectors de collites. En aquest cas, els estalvis bruts són de 6.900 milions de tones.
- ¹² Sóc conscient que després de l'incident de la central de Fukushima al Japó, aquesta afirmació pot sorprendre el lector. Els problemes de Fukushima, però, pertanyen més als efectes del tsunami i al disseny particular de la planta, que no pas a la tecnologia nuclear per se. També és oportú assenyalar que, just en la fase de revisió de la versió final d'aquest article, s'ha produït una explosió al centre d'emmagatzemament de residus nuclears de Marcoule (França), aparentment causada pel mal funcionament de les instal·lacions del centre. Ambdós són incidents puntuals, lligats a qüestions alienes a la tecnologia nuclear que, en opinió de l'autor, no invaliden l'argument del text.



MIRADA LEGISLATIVA

El Reglament REACH: una oportunitat per a la química verda?



Tatiana Santos i Dolores Romano
Institut Sindical de Treball,
Ambient i Salut (ISTAS)

Les autores repassen els riscos per a la salut humana i el medi ambient de les substàncies químiques sintètiques. El text també descriu l'evolució normativa des dels anys setanta i els canvis que ha representat l'impuls de la química verda per part de la Comunitat Europea.

Podríem afirmar que la química va néixer el dia en què els nostres avantpassats van aconseguir transformar la matèria. L'aparició i l'expansió de la indústria química de síntesi va començar a partir de la primera meitat del segle XIX, amb possibilitats pràcticament il·limitades de transformar materials i de crear una infinitat de substàncies químiques artificials o sintètiques a conveniència.

Aquestes substàncies es dissenyen per complir alguna finalitat determinada (que netegin, que dissolguin, que blanquegin, etc.), per després fer-les servir als laboratoris, en la indústria, a les llars, en l'agricultura, etc. Les substàncies sintètiques o artificials no es troben a la natura, de manera que el medi ambient té més dificultats per assimilar aquestes substàncies artificials i integrar-les en els cicles biològics naturals. Moltes substàncies sintètiques no es degraden amb facilitat, de manera que persisteixen durant anys en el medi (algunes fins i tot centenars d'anys) i sovint presenten una toxicitat més elevada que les substàncies naturals, ja que els éssers vius no disposen de sistemes per detoxicar-les i metabolitzar-les, a diferència de les substàncies que es troben a la natura, amb les quals han conviscut durant milions d'anys. A més a més, moltes substàncies sintètiques es dissenyen (com en el cas dels biocides i els pesticides) amb la funció de destruir organismes vius (insectes, plagues, etc.).

L'enfocament tradicional de la química està establert com un disseny industrial basat en l'optimització econòmica (fins fa molt poc, contaminar no representava cap cost), on es desconeixen i es menyspreen les propietats perilloses de les substàncies químiques, i la seguretat es basa en la minimització de l'exposició individual. A l'hora de crear noves substàncies no es té en compte la seva perillositat; no es dissenyen perquè siguin més segures, sinó perquè siguin més efectives. Aquest és el gran error de la química tradicional, un error de disseny que no promou en absolut el desenvolupament de la química verda, que pretén dissenyar substàncies químiques perquè siguin segures.

El risc químic

Amb aquest enfocament tradicional, la producció global de productes químics sintètics ha augmentat des d'1 milió de tones l'any 1930 fins als 400 milions de tones anuals actualment.¹ Avui dia es calcula que hi ha 44,9 milions de productes químics diferents (només mesclures químiques, no articles) disponibles al mercat mundial, i cada any fins i tot es fabriquen entre dos mil i cinc mil productes nous.²

Com a conseqüència de les elevades xifres de producció, distribució i ús de substàncies químiques, aquestes són presents en pràcti-



cament tots els compartiments ambientals i, sorprenentment, fins i tot en articles en què no s'explica la seva presència (com la presència de DDT en productes cosmètics). S'ha inundat el medi ambient amb bilions de quilos de noves substàncies artificials.

comporta l'exposició constant i creixent de treballadors i de la població general a contaminants químics a través de diferents vies, inclosa la inhalació d'aire contaminat i la pols, la ingestió d'aigua i aliments contaminats, l'exposició cutània a agents químics o productes contaminats o l'exposició del fetus durant l'embaràs.



La producció de substàncies que són perilloses per a la salut i el medi ambient no ha deixat de créixer.



Producció d'algunes substàncies cancerígenes (tones) a Espanya:

Any	Cancerígens (1)	Brea i coc de brea de quitrà d'hulla o d'altres quitrans minerals (2)	Metanal (formaldehid) (2)	Diclorometà (clorur de metilè) (2)
1993	1.432.747	(*)	250.550	(*)
1994	1.629.939	136.079	242.557	(*)
1995	2.081.388	197.973	330.391	(*)
1996	2.225.114	248.857	353.763	18.575
1997	2.245.023	238.049	369.581	21.469
1998	2.361.676	241.608	417.290	(*)
1999	2.638.327	255.788	493.688	(*)
2000	2.694.351	278.451	563.072	14.231
2001	2.578.794	259.485	634.938	13.769
2002	2.152.269	278.009	483.805	14.118
2003	2.368.311	195.595	442.630	11.609
2004	2.447.806	205.267	508.816	S.d.

Font: Enquesta anual industrial de productes (INE).

(1) Brea i coc de brea de quitrà d'hulla o d'altres quitrans minerals, benzè, clorur de vinil, òxid d'etilè, formaldehid, hexaclorobenzè, DDT, derivats halogenats dels hidrocarburs aromàtics n.c.a.p., tetracloroetilè, tricloroetilè, diclorometà, acrilonitril, buta-1,3-diè, clorobenzè, o-diclorobenzè i p-diclorobenzè, estirè, tetraclorur de carboni, olis de creosota.

(2) La quantitat inclou vendes i reutilització.

(*) Dada no publicable per secret estadístic.

S. d.: no es disposa de dades.

Font: *Sostenibilidad en España 2006*, Observatori de la Sostenibilitat a Espanya (OSE)

De forma paral·lela, la producció de substàncies que són perilloses per a la salut i el medi ambient no ha deixat de créixer. A Espanya, com mostra la taula següent, la producció d'algunes substàncies cancerígenes ha patit un increment del 50% en 10 anys.³

El flux incessant de substàncies químiques sintètiques i, per tant, la seva presència a la llar, en l'ambient laboral i en el medi ambient

Com a conseqüència d'això, s'estima que cada any moren a Espanya 4.000 treballadors, almenys 33.000 emmalalteixen i més de 18.000 pateixen accidents a causa de l'exposició a substàncies químiques perilloses a la feina.

Aquesta és una quantificació ràpida dels efectes del risc químic sobre la salut laboral, però les seves repercussions sobre el medi am-

bient també són igual de greus. L'alliberament de substàncies químiques a l'entorn provoca la contaminació dels rius i els mars, de l'aire, del sòl, dels aliments i de l'aigua, la qual cosa comporta importants danys a la natura i és origen de malalties en la població.

Els nens, les dones embarassades i lactants i les persones grans són especialment vulnerables a la contaminació ambiental. Segons les dades aportades per les xarxes de mesurament de la contaminació de les administracions autonòmiques,⁴ el 84% de la població espanyola (38 milions de persones) respira aire que supera els índexs de protecció per a la salut recomanats per l'Organització Mundial de la Salut.⁵

Segons dades d'aquesta organització, cada any moren 2 milions de persones al món com a conseqüència de la contaminació de l'aire, la meitat d'elles en països desenvolupats.⁶

Segons estimacions de la Comissió Europea, els nivells actuals de contaminació atmosfèrica causen anualment 370.000 morts prematures a Europa.⁷

Per la seva part, el Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí xifra en 16.000 les morts prematures que origina la contaminació a Espanya, un nombre 7 vegades més gran que les víctimes mortals en accidents de trànsit (1.710 el 2010).

Les taxes de mortalitat per malalties cròniques són especialment rellevants als països desenvolupats, i s'evidencia cada vegada més la relació existent entre la degradació ambiental, d'una banda, i la pèrdua de salut, els estils de vida poc saludables i la disminució de la qualitat de vida, d'una altra banda.⁸

Les malalties relacionades amb l'exposició ambiental a substàncies químiques s'han disparat els últims anys tant a Espanya com a la resta del món. El nombre de defuncions per malalties que poden tenir causes ambientals s'ha triplicat en el període 1980-2004. El càncer, els problemes reproductius (infertilitat, malformacions, malalties reproductives), les alteracions hormonals (diabetis, problemes

tiroïdals, càncers), les malalties immunològiques (dermatitis, al·lèrgies) i els problemes neurològics (problemes d'aprenentatge, autisme, hiperactivitat, Alzheimer, Parkinson), entre altres malalties relacionades amb l'exposició a substàncies tòxiques, han assolit xifres epidèmiques.⁹

Així doncs, ens trobem davant un problema de salut pública de gran envergadura que afecta la ciutadania, els treballadors que manipulen substàncies químiques tòxiques o hi estan exposats, i el medi ambient.

Normativa davant el risc químic

Les polítiques davant el risc químic són reactives, és a dir, no s'actua fins que no es prova el perill que representa l'ús de substàncies químiques sintètiques. A falta d'evidències sobre toxicitat, la legislació pressuposa que les substàncies químiques són inofensives i permet que continuïn les exposicions fins que es demostrï el contrari, i fins i tot quan se'n demostra la toxicitat, la normativa està basada en el «control» de substàncies perilloses, i no en la seva substitució per alternatives més segures. Aquesta presumpció d'innocència ha plantejat problemes seriosos, amb unes conseqüències de les quals vam començar a adonar-nos després de gairebé cinquanta anys d'expansió del sector químic, durant els quals es va dedicar poca atenció a la salut, la seguretat o el medi ambient.

D'altra banda, els governs assumeixen la major part de la responsabilitat demostrant de forma concloent els riscos que cada substància representa per a la salut i el medi ambient, abans d'iniciar qualsevol acció preventiva. D'aquesta manera, deixen «carta blanca» a les empreses productores, responsables dels danys que ocasionen els seus productes.

Hi ha pocs incentius en l'actual sistema de gestió del risc químic perquè s'utilitzin substàncies més segures.

La primera normativa europea específica sobre substàncies químiques data del 1967, quan s'aprova la Directiva 67/548/CEE¹⁰ sobre classificació, embalatge i etiquetatge de

les substàncies perilloses (transposada a la normativa espanyola en el Reial decret 363/1995),¹¹ que tenia com a objectiu evitar les barreres comercials que podien establir les diferents formes de classificar i etiquetar les substàncies als països de la Comunitat Europea.

Al llarg dels anys setanta es van anar aprovant noves directives sobre restricció de substàncies, classificació i etiquetatge de preparats, l'objectiu de les quals seguia sent eliminar les barreres comercials al mercat intern. Qualsevol substància química es podia comercialitzar al mercat europeu, amb l'única condició que es complissin les obligacions de classificació, etiquetatge, envasat i restricció.

Al llarg de l'últim mig segle s'han comercialitzat milers de substàncies químiques, encara que amb freqüència es disposa de molt poca informació i poc coneixement sobre els efectes que tenen sobre la salut i el medi ambient. Si bé sabem moltes coses sobre certes substàncies, encara hi ha poques dades sobre una gran part de les substàncies químiques, els seus efectes sobre la salut i, sobretot, els efectes derivats de l'exposició a aquestes substàncies i de la seva utilització en la cadena de subministrament.

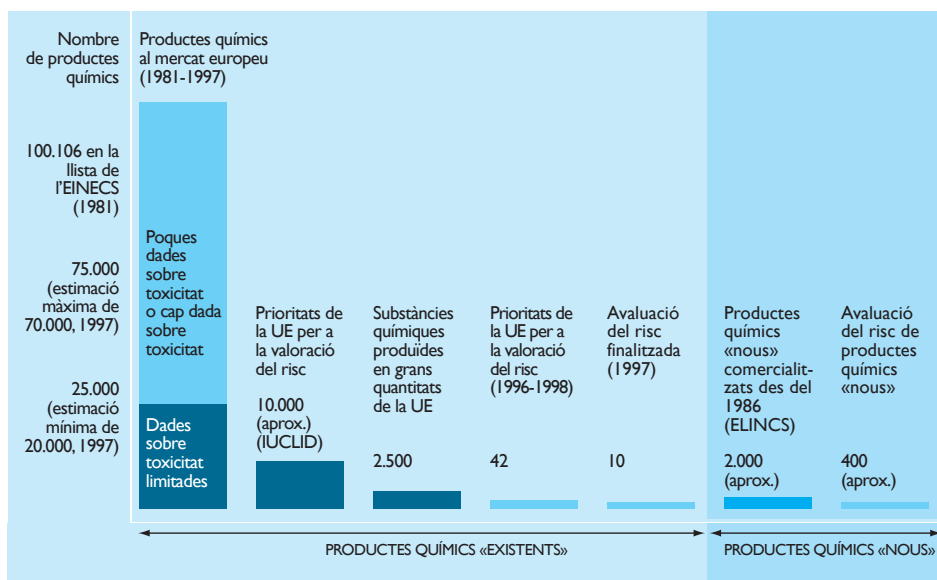
Fins al 1979 no es va establir un sistema de notificació per a les noves substàncies químiques que es volguessin introduir al mercat. La notificació implicava l'obligació d'aportar a l'autoritat competent informació sobre la producció, els usos i les característiques perilloses de les substàncies noves que es volguessin comercialitzar, però permetia, no obstant això, que 100.204 substàncies, les anomenades «substàncies existents», es mantinguessin al mercat malgrat que no se'n coneguessin les característiques perilloses.

També el 1979 es va introduir per primera vegada en la normativa europea la necessitat de protegir el medi ambient.

Al llarg dels anys vuitanta i noranta es van anar aprovant diferents normatives per regular substàncies concretes, alguns productes (plaguicides, cosmètics), emissions a l'aire,



Molts productes químics, dades limitades sobre la toxicitat



Font: *Chemicals in the European environment: low doses, high stakes?*, Agència Europea de Medi Ambient, 1998

abocaments i generació de residus, o per protegir els treballadors de l'exposició laboral a substàncies perilloses, entre d'altres.

El 1993 s'aprova el Reglament (CEE) núm. 793/93,¹² sobre avaluació i control del risc de substàncies químiques existents, amb l'objectiu d'establir un sistema comú per avaluar les substàncies existents i evitar així les barreres al mercat intern que estaven representant les restriccions que diferents països membres anaven imposant als usos de determinades substàncies. El principi bàsic que establia aquest reglament era que no es pot restringir cap substància fins que no s'hagi dut a terme una avaluació dels riscos que comporta per a la salut i el medi ambient. Les autoritats es responsabilitzaven de dur a terme aquestes avaluacions. Es va establir una llista de 110 substàncies (d'entre les 100.204 existents en el mercat) l'avaluació de les quals era prioritària, i l'avaluació de cada substància es va assignar a algun dels estats membres. La «càrrega de la prova», és a dir, la responsabilitat de conèixer els perills i els riscos de les substàncies, requeia per tant en les administracions, i no en la indústria, de manera que, després de gairebé dues dècades des de l'entrada en vigor d'aquest reglament, només s'ha realitzat la bateria completa de proves

establertes en les avaluacions de risc a 141 substàncies, i aquestes proves, en general, no inclouen efectes crònics subletals, com la disrupció endocrina, els efectes de la qual no són immediats i es perceben anys més tard.

Grau de coneixement sobre les característiques perilloses de les substàncies químiques existents en el mercat europeu

Un estudi publicat per l'Oficina Europea de Productes Químics el 1999 mostrava que no es disposava de dades públiques sobre la toxicitat de 75.000 substàncies «existents» al mercat, i que es disposava de dades parcials de la resta.

Canvi de tendència i química verda

Al llarg dels anys vuitanta i noranta, diferents fòrums internacionals polítics, socials i científics anaven advertint sobre la necessitat de protegir la salut i el medi ambient dels riscos de les substàncies químiques. Els coneixements científics sobre la dispersió global de substàncies tòxiques, els greus danys que estaven ocasionant a la fauna i les advertències sobre possibles efectes sobre la salut humana van donar la veu

d'alarma als fòrums polítics sobre la necessitat d'actuar.

Així, els convenis OSPAR¹⁴ de Barcelona¹⁵ i d'Hèlsinki¹⁶ van incloure com a objectiu eliminar els abocaments de substàncies tòxiques al medi ambient marí abans de l'any 2020. El Conveni d'Estocolm¹⁷ té com a objectiu eliminar, a escala global, els riscos dels contaminants orgànics persistents (COP) sobre la salut i el medi ambient.

A finals del segle xx, un centenar de peces normatives tractaven sobre diferents aspectes relacionats amb el comerç de substàncies químiques i la protecció de la salut dels treballadors i els consumidors i del medi ambient davant els riscos que podrien representar les substàncies químiques perilloses.

No obstant això, la preocupació de ciutadans, científics, organitzacions socials i treballadors sobre els danys que les substàncies químiques ocasionaven sobre la salut i el medi ambient anava augmentant juntament amb el reconeixement de la necessitat de modificar les polítiques de gestió de substàncies químiques.

La química verda, que va néixer el 1998 com una necessitat de tractar i reduir la contaminació, és una manera nova i revolucionària d'enfocar la síntesi de noves substàncies químiques que té com a objectiu la consecució d'una química més amigable amb la salut i el medi ambient. La idea bàsica consisteix a introduir en la fase de disseny i desenvolupament de noves substàncies, barreges o articles, previsions sobre el seu impacte potencial en la salut i el medi ambient i desenvolupar alternatives que minimitzin aquest impacte.

Durant els últims tretze anys s'han desenvolupat diverses iniciatives a escala nacional i internacional per promoure el desenvolupament i l'aplicació de la química verda. No obstant això, si es compara amb els fons disponibles per a química tradicional o avaluació de riscos, la inversió en química verda és mínima.¹⁸

El 1998, paral·lelament al naixement de la química verda, cinc estats membres (Àustria, Dinamarca, Finlàndia, Holanda i Suècia) van presentar davant el Consell Europeu un document que proposava que la UE es dotés d'un marc polític sobre substàncies químiques, que inclogués els elements següents:

- Objectius d'eliminació.
- Trasllat de la càrrega de la prova a la indústria.
- Informació a usuaris i ciutadans.
- Introducció de recomanacions de precaució, substitució, minimització i gestió segura de substàncies.
- Aplicació del principi de precaució.
- Costos de les avaluacions de risc revertits en la indústria.

Com a conseqüència d'això, el Consell sol·licita a la Comissió Europea una revisió del sistema normatiu sobre substàncies químiques. Arran d'aquesta revisió i les consultes posteriors amb estats membres i agents interessats, el Consell conclou, el 1999, que la UE necessita una estratègia sobre substàncies químiques integrada i coherent per augmentar la protecció de la salut i del medi ambient.

En resposta a aquesta petició del Consell, l'any 2001 la Comissió presenta el *Llibre blanc sobre l'estratègia per a la futura política en matèria de substàncies i preparats químics*,¹⁹ que reconeixia el fracàs de la política europea de gestió del risc químic, a causa, entre altres aspectes, del següent:

- La dificultat en la identificació dels riscos i, per tant, en la seva gestió.
- La càrrega de la prova, que requeia sobre les autoritats.
- Un procés d'avaluació i de restricció de substàncies lent i costós (des del 1976 s'havien avaluat una desena de substàncies i s'havien restringit els usos d'un centenar de substàncies).
- Falta d'innovació per a una química més sostenible.
- Desconfiança del consumidor.

Es planteja, així, la necessitat d'un marc polític i normatiu amb els elements següents:

- Àmbit: que afecti totes les substàncies fabricades o importades en més d'1 t/a per fabricant/importador.
- Responsabilitat: la indústria ha de ser responsable de la seguretat dels productes que fabrica, d'avaluar els riscos i de proporcionar informació a administracions, usuaris i consumidors.
- Millora de l'accés públic a la informació.
- Priorització de les actuacions en funció del volum de producció/importació de les substàncies i del seu nivell de perillositat.
- Promoció de la substitució de les substàncies CMR, DE, TPB i mPmB.²⁰
- Reducció de les proves en animals.

El Reglament REACH

Com a resposta a les actuacions aprovades en el *Llibre blanc*, la Comissió Europea ha desenvolupat fins al moment una peça normativa: el Reglament REACH.

L'entrada en vigor del nou Reglament 1907/2006, relatiu al registre, l'avaluació, l'autorització i la restricció de les substàncies i els preparats químics (comunament conegut com a Reglament REACH), ofereix un nou sistema normatiu únic, més coherent i amb potencial per millorar el control, la prevenció i la gestió del risc químic.

El REACH introdueix el principi de precaució en establir un marc per eliminar del mercat algunes de les substàncies més perilloses, com les substàncies tòxiques persistents i bioacumulatives (TPB), les substàncies molt persistents i molt bioacumulatives (mPmB) o els disruptors endocrins (DE) i substàncies amb un nivell de preocupació equivalent al de les anteriors, en cas que al mercat existixin alternatives viables més segures.

Principi de precaució

«Quan hi hagi perill de dany greu o irreversible, la manca de certesa científica absoluta no s'ha d'emprar com a raó per postergar l'adopció de mesures eficaces en funció dels costos per impedir la degradació del medi ambient.»

Declaració de Rio sobre el Medi Ambient i el Desenvolupament, 1992.

Un dels aspectes més importants del REACH és el seu potencial per promoure la química verda i la innovació per assolir una química més segura (mitjançant el disseny de substàncies menys tòxiques), fomentant la substitució i la recerca d'alternatives per a les substàncies preocupants.

Principi de substitució

«A fi de donar suport a l'objectiu de la substitució final de les substàncies altament preocupants per substàncies o tecnologies alternatives adequades, tots els sol·licitants d'autorització han de facilitar una anàlisi de les alternatives tenint en compte els seus riscos i la viabilitat econòmica i tècnica de la substitució, inclosa la informació sobre tota recerca i desenvolupament que el sol·licitant estigui fent o es proposi fer.»

Considerant 72 del Reglament REACH.

A través del procés d'autorització, el REACH estableix que les substàncies més perilloses per a la salut i el medi ambient no podran circular en el mercat europeu sense una autorització prèvia. Aquest «aval» no s'atorgarà si existeixen alternatives menys nocives, segons estableix la normativa mateixa, excepte per a substàncies sobre les quals es pot establir un límit d'exposició i per als alteradors hormonals o disruptors endocrins.



Segons estableix el procés d'autorització, les empreses que vulguin fabricar o importar substàncies amb un nivell de preocupació elevat (CMR, DE, TPB, mPmB i substàncies amb un nivell de preocupació equivalent que s'inclouen en l'annex XIV) hauran de sol·licitar una autorització per a cada ús que en vulguin fer. Per exemple, si l'han de fer servir com a component d'una pintura, com a dissolvent, etc.

Només es concedirà autorització si una anàlisi socioeconòmica demostra que els beneficis del seu ús són superiors als seus riscos per a la salut i el medi ambient i no hi ha substàncies o tecnologies alternatives viables al mercat, la qual cosa sens dubte promourà la innovació i la química verda.

Per a les empreses líders del sector serà una oportunitat per desenvolupar processos i productes químics més segurs.

El nou reglament reforça la responsabilitat de la indústria a l'hora de proporcionar informació sobre l'ús segur de les substàncies i gestionar adequadament els riscos derivats de la seva utilització, i reverteix la càrrega de la prova, de manera que les empreses que vulguin produir o importar substàncies químiques a la Unió Europea hauran de demostrar que la substància és segura. Les empreses fabricants o importadores són responsables de generar i proporcionar a les autoritats informació sobre les propietats de les substàncies, així com d'avaluar els riscos derivats del seu ús.

Finalment, el REACH millorarà el coneixement existent sobre les substàncies químiques, ja que les empreses hauran d'aportar informació bàsica sobre les propietats de les substàncies que fabriquen o importen en quantitats superiors a 1 t/a (unes 30.000 substàncies). A més, hauran d'aportar un informe de seguretat química (ISQ) de les substàncies que fabriquen o importen en quantitats superiors a 10 t/a (afectarà unes 12.500 substàncies) i que inclourà avaluacions dels riscos per a la salut i el medi ambient per als diferents usos previstos de la substància.

L'Agència Europea de Substàncies i Preparats Químics (ECHA) assessora els estats membres i gestiona els aspectes tècnics, científics i administratius del Reglament.

Valoració del REACH

Malgrat el gran potencial que ofereix aquest nou reglament europeu, la realitat en la seva aplicació dista bastant de les expectatives dels sindicats i les organitzacions socials i ambientals.

El REACH és una eina normativa molt complexa el compliment correcte de la qual és indispensable per aconseguir el seu principal objectiu: protegir la salut humana i el medi ambient dels efectes perjudicials dels productes tòxics.

Un informe de la Comissió Europea²¹ reconeixia recentment que el REACH «no està a l'altura», després de revisar el 6è Programa d'acció comunitari en matèria de medi ambient (VI PAM), adoptat per primera vegada el 2002, que recull els compromisos i les accions existents en matèria de medi ambient i salut de la Unió Europea per contribuir a millorar la qualitat de vida i benestar social per als ciutadans i protegir el medi ambient. Aquesta revisió reconeix que el programa «no ha propiciat un enfocament coherent cap a una agenda política integral».

La Comissió també aborda i analitza la influència del Reglament REACH per assolir els objectius del PAM. Com a resultat conclou que el REACH no compleix amb els objectius de protecció de la salut i el medi ambient, de disseminació de la informació i d'accés a la informació de la ciutadania sobre substàncies químiques, així com de substitució de les substàncies més perilloses.

Segons la Comissió Europea, és poc probable que el Reglament REACH assoleixi metes del VI PAM, com que el 2020 les substàncies químiques «només es produeixen i utilitzen de manera que no ocasionin un impacte negatiu significatiu en la salut i el medi ambient».

La Comissió Europea recorda que l'objectiu del programa de garantir un millor accés públic a la informació sobre les substàncies químiques està sent afectat per les disposicions del REACH, que faciliten la confidencialitat d'una gran quantitat d'informació d'interès per a la ciutadania. Aquesta manca de transparència està bloquejant les oportunitats d'innovació i desenvolupament d'una química més segura, la química verda.

Tampoc confia en el compliment de l'objectiu de substituir les substàncies altament preocupants per altres que siguin més segures, ja que «el REACH permet que s'autoritzi l'ús de substàncies altament preocupants, fins i tot si existeixen alternatives més segures», com és el cas dels disruptors endocrins.

Els sindicats esperaven que entre mil i mil cinc-cents substàncies perilloses ja identificades i classificades com a tals a escala europea per les seves propietats altament preocupants requeririen autorització per ser presents al mercat, de manera que haurien de ser retirades del mercat progressivament i substituïdes per alternatives més segures, tal com estableix la normativa.

Actualment, no obstant això, només sis substàncies estan subjectes a autorització. A aquest ritme, necessitariem 1.250 anys perquè les substàncies més perilloses requereixin autorització per ser posades (o continuar) al mercat.

Els sindicats, les ONG i els partits polítics verds han denunciat en diverses ocasions que la ECHA està alentint el procés, desanimant els estats membres perquè no proposin substàncies perilloses. Totes les substàncies que compleixen els criteris d'alta perillositat haurien d'estar incloses com més aviat millor a la «llista negra» perquè les empreses comencin a innovar i a aplicar els principis de la química verda per buscar alternatives.

L'autorització sota el REACH també té importants deficiències a l'hora de garantir la

protecció de la salut i el medi ambient. Tal com apuntava l'informe de la Comissió Europea, permet l'ús de substàncies perilloses, fins i tot quan existeixen alternatives més segures, i a més a més eximeix alguns usos, que no considera motiu de preocupació (com els usos industrials «controlats adequadament» o els usos en laboratoris de recerca).

Conclusions

«La forma en què gestionem les substàncies químiques actualment és incompatible amb la salut, la innovació i la sostenibilitat.»²²

Els equips d'R+D de les grans empreses estan sotmesos a la dictadura de les lleis del mercat: ser més ràpids que la competència, dissenyar productes amb prestacions tècniques millors que les dels productes existents al mercat (o equiparables a les d'aquests productes) i que resultin més competitius econòmicament. Així doncs, temps, tècnica i preu són bàsicament els avantatges competitius que fa servir la legió d'agents comercials en la batalla pel control dels mercats. Més clarament, a l'hora d'abordar la recerca, les empreses prioritzen l'eficiència tècnica i el preu sobre qualsevol altra consideració.

Les polítiques han de promoure la recerca i la innovació amb la finalitat de protegir activament la ciutadania i el medi ambient dels efectes adversos que ocasionen les substàncies tòxiques. S'espera que aquestes iniciatives impulsin el desenvolupament de substàncies més segures i compatibles amb el medi ambient.

Els marcs normatius hauran d'eliminar l'actual dinàmica desarticulada de gestió del risc químic, en favor d'un marc normatiu amb una perspectiva integral i preventiva.

El Reglament REACH ofereix una gran oportunitat per a la innovació i la química verda, però s'ha d'aplicar atenent als seus principis i objectius bàsics i perseguint un equilibri adequat entre els interessos econòmics i de mercat, i els interessos de la ciutadania i el medi ambient. ●

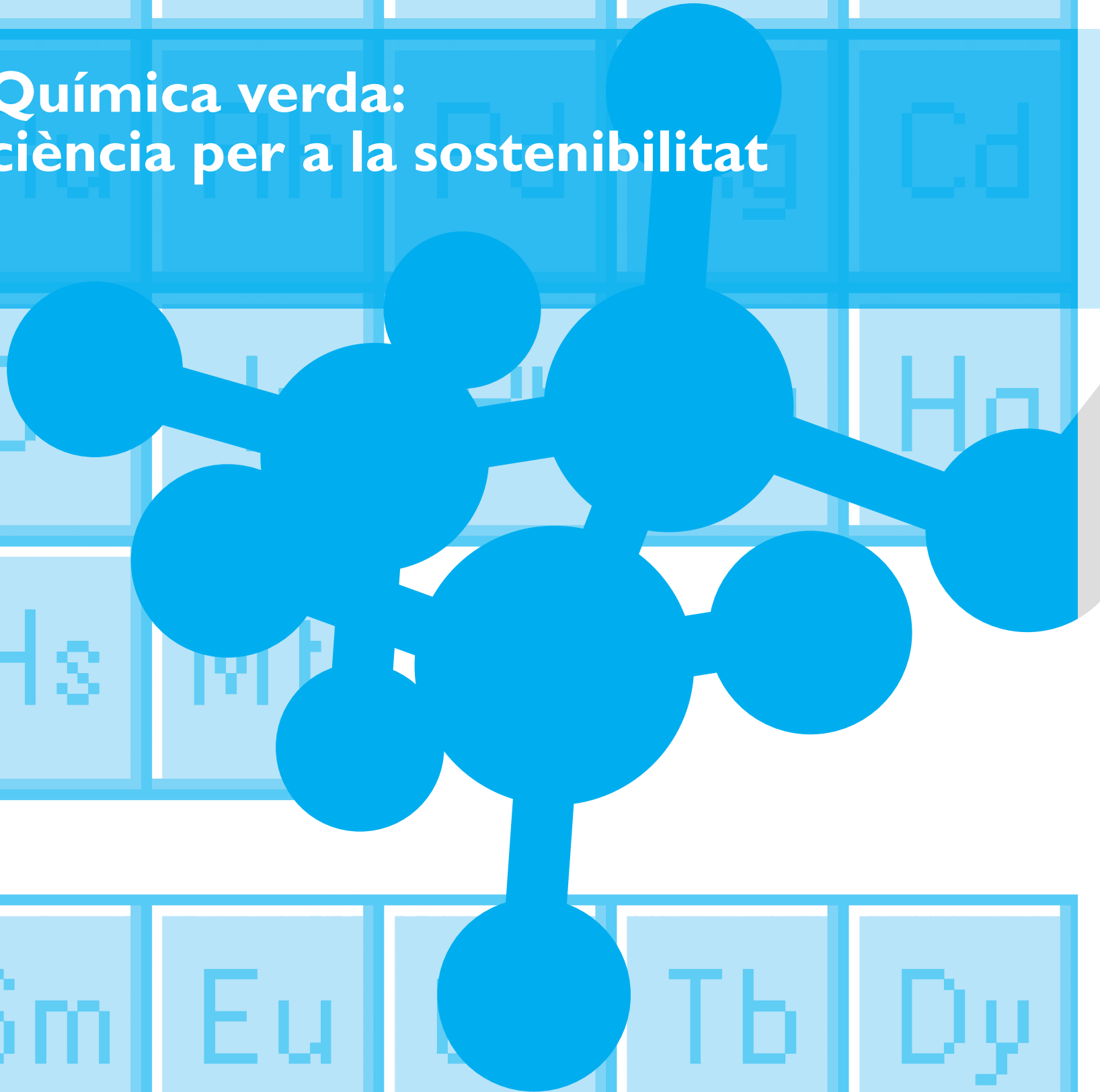
Referències

- 1 COMISSIÓ EUROPEA. *Libro Blanco sobre la estrategia para la futura política en materia de sustancias y preparados químicos*, COM(2001) 88 final, 2001. Disponible a: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/es/com/2001/com2001_0088es01.pdf
- 2 AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *The latest CAS registry number and substance count*. Disponible a: <http://www.cas.org/cgi-bin/cas/regreport.pl>
- 3 OBSERVATORI DE LA SOSTENIBILITAT A ESPANYA. *Sostenibilidad en España 2006*. Disponible a: http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Informes/anuales/2006/sostenibilidad_2006-esp.pdf
- 4 Segons els valors límit establerts per la Directiva 2008/50/CE.
- 5 ECOLOGISTES EN ACCIÓ. *La calidad del aire en el Estado español durante 2008*, Ecologistas en Acción, Madrid, juliol del 2009. Disponible a: http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf_Aire2008.pdf
- 6 ORGANITZACIÓ MUNDIAL DE LA SALUT. *Air quality and health*, Fact Sheet núm. 313, agost del 2008. Disponible a: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/index.html>
- 7 COMISSIÓ EUROPEA. *Environment fact sheet: moving towards clean air for Europe*, 2006. Disponible a: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/air.pdf>
- 8 OBSERVATORI DE LA SOSTENIBILITAT A ESPANYA. *Sostenibilidad en España 2009*. Disponible a: http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Informes/anuales/2009/sostenibilidad_2009-esp.pdf
- 9 OBSERVATORI DE LA SOSTENIBILITAT A ESPANYA. *Sostenibilidad en España 2006*. Disponible a: http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Informes/anuales/2006/sostenibilidad_2006-esp.pdf
- 10 Directiva 67/548/CEE del Consell, de 27 de juny de 1967, relativa a l'aproximació de les disposicions legals, reglamentàries i administratives en matèria de classificació, embalatge i etiquetatge de les substàncies perilloses.
- 11 Reial decret 363/1995, de 10 de març, pel qual es regula el Reglament sobre notificació de substàncies noves i classificació, envasament i etiquetatge de substàncies perilloses, BOE núm. 133, de 5 de juny de 1995.
- 12 Reglament (CEE) núm. 793/93 del Consell, de 23 de març de 1993, sobre avaluació i control del risc de les substàncies existents.
- 14 Conveni sobre protecció del medi marítim del Nord-est Atlàntic, signat a París el 22 de setembre de 1992.
- 15 Conveni per a la protecció del mar Mediterrani contra la contaminació, signat a Barcelona el 1976 i modificat el 1995.
- 16 Conveni sobre la protecció i l'ús dels cursos d'aigua transfronterers i els llacs internacionals, signat a Hèlsinki el 1992.
- 17 Conveni d'Estocolm sobre contaminants orgànics persistents, signat el 2001.
- 18 TICKNER, J. *Química verde, iniciativas e implantación. Una perspectiva internacional*, University of Massachusetts Lowell, EUA. [Intervenció al VI Fòrum ISTAS de Salut Laboral].
- 19 COMISSIÓ EUROPEA. *Libro Blanco sobre la estrategia para la futura política en materia de sustancias y preparados químicos*, COM(2001) 88 final, 2001.
- 20 CMR: cancerígenes, mutàgens i tòxics per a la reproducció; DE: disruptors endocrins; TPB: tòxics, persistents i bioacumulatius; mPmB: molt persistents i molt bioacumulatius.
- 21 ECOLOGIC INSTITUTE. *Final Report for the Assessment of the 6th Environment Action Programme*, Berlín i Brussel·les, 2011. Disponible a: <http://www.istas.net/web/abreenlace.asp?idenlace=9135>
- 22 TICKNER, J.; GEISER, K.; COFFIN, M.; SCHIFANO, J.; TORRIE, Y. *De un control reactivo de las sustancias a una política integral en materia de riesgo químico: evolución y oportunidades*, Lowell Center for Sustainable Production, University of Massachusetts Lowell [Intervenció al VI Fòrum ISTAS de Salut Laboral]. Disponible a: <http://istas.net/web/abreenlace.asp?idenlace=7796>
- 23 TICKNER, J. *Química verde, iniciativas e implantación. Una perspectiva internacional*, University of Massachusetts Lowell, EUA. [Intervenció al VI Fòrum ISTAS de Salut Laboral].



MIRADA INDUSTRIAL

Química verda: ciència per a la sostenibilitat



Carles Estévez
Director científic d'IUCT

L'autor detalla els dotze principis de la química verda que a començaments dels anys noranta van establir els químics Anastas i Warner. L'article fa un repàs de les principals innovacions en forma de productes aportades per la química verda i descriu la situació d'aquesta ciència, tant als Estats Units com a Catalunya.

Aquest 2011, Any Internacional de la Química, és una ocasió única per fixar la nostra atenció envers aquesta ciència. Tenim motius per fer-ho, atesa la magnitud dels reptes presents i futurs que afectaran la nostra generació i les properes: com afrontarem la crisi energètica i el canvi climàtic? Com fabricarem automòbils, vestits, televisors, telèfons, ordinadors i altres béns de consum amb petroli i altres matèries primeres cada vegada més cares i menys disponibles? És possible mantenir el nostre nivell de benestar de manera sostenible?

A l'inici dels anys noranta, un grup reduït de químics, encapçalat pel Dr. Paul Anastas de l'Environmental Protection Agency i el Dr. John Warner, aleshores a la companyia Polaroid als EUA, es van formular les mateixes qüestions i van arribar a la conclusió que els problemes identificats només es podrien resoldre amb una nova formulació dels principis químics que s'utilitzaven fins aleshores. Naixia la *química verda*.

Els professors Anastas i Warner van definir la química verda com el disseny, la manufactura i l'ús de substàncies químiques i processos que redueixen o eliminen l'ús o la generació de residus i productes nocius per al medi ambient o la salut humana. Aquesta definició general la van concretar en una sèrie de dotze principis coneguts com «els 12 principis de la química verda».

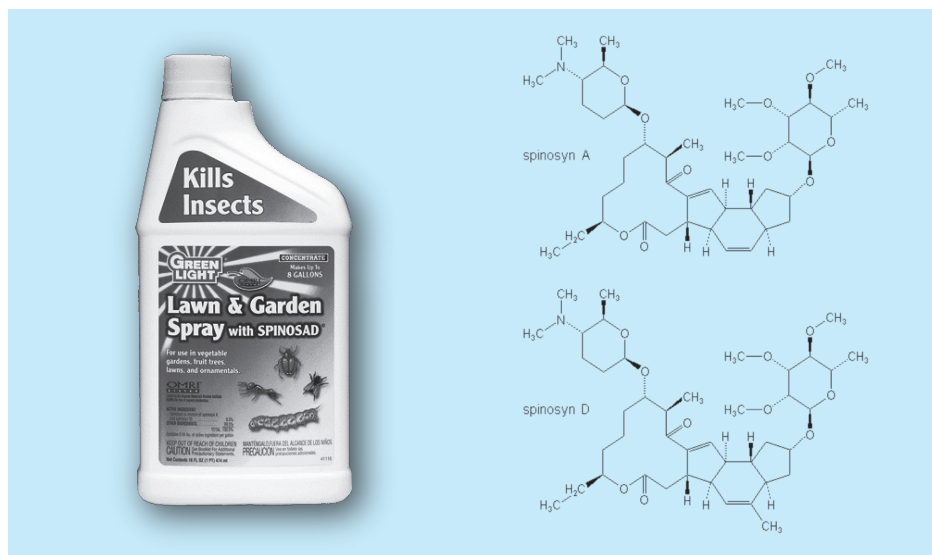
Els 12 principis de la química verda

1. És millor prevenir la contaminació que tractar posteriorment els residus.
2. Els mètodes de síntesi de productes químics s'han de dissenyar per fer màxima la incorporació al producte final de tots els materials utilitzats en el procés.
3. La síntesi de productes químics ha d'utilitzar i generar substàncies que tinguin nul·la o poca toxicitat per a la salut humana i per al medi ambient.
4. Els productes químics s'han de dissenyar de tal manera que se'n preservi la funcionalitat i l'eficàcia, i que alhora se'n redueixi la toxicitat.
5. S'ha d'evitar o minimitzar l'ús de substàncies auxiliars i, si són necessàries, han de ser innòcues.
6. S'han de minimitzar els requeriments energètics, que s'han d'avaluar pel seu impacte econòmic i ambiental. Els mètodes de síntesi s'han de portar a terme a pressió i temperatura ambientals.
7. Les matèries primeres emprades i els recursos naturals consumits han de ser preferentment renovables, sempre que això sigui econòmicament i tècnicament viable.
8. Els processos basats en reaccions directes són preferibles als processos en què cal dur a terme reaccions intermèdies.

.....

**Des que es va formular
a començaments
dels anys noranta,
els principis de la
química verda han
estat interpretats amb
diferents matisos.**

.....



9. Els reactius catalítics han de ser tan selectius com sigui possible, a fi d'evitar la formació de subproductes innecessaris, i s'han d'utilitzar en lloc dels reactius estequiòmètrics.
10. Els productes químics s'han de dissenyar de manera que al final de la seva vida útil no persisteixin en el medi i que els seus productes de degradació siguin innocus.
11. Les metodologies analítiques han de permetre controlar el procés a temps real per detectar la possible formació de substàncies nocives.
12. Les substàncies i la forma en què són utilitzades en un procés químic s'han d'escollir de manera que es minimitzi el risc potencial d'accidents químics, incloent-hi fuites, explosions i incendis.

Cal, doncs, diferenciar la química verda d'altres disciplines científiques com la química ambiental. Mentre que la química verda té com a objectiu el disseny de molècules i processos químics per evitar que tinguin un impacte advers sobre el medi ambient i la salut humana, la química ambiental estudia la distribució i els efectes dels productes químics sobre el medi ambient.

Des que es va formular a començaments dels anys noranta, els principis de la química verda han estat interpretats amb diferents matisos. Una part de la comunitat científic

ca els ha considerat una nova filosofia per a la pràctica de la química orientada a cobrir les necessitats humanes de la manera més sostenible possible. Per a d'altres, el disseny químic ha d'incloure l'optimització de noves variables relacionades amb l'impacte dels productes químics sobre el medi ambient, la salut humana i la seguretat industrial. Aquest fet explica les dues denominacions que aquesta branca de la química ha rebut de la comunitat científica internacional: *química verda* i *química sostenible*. Malgrat les diferents interpretacions, el cert és que durant els últims quinze anys s'han aconseguit avenços molt significatius que han donat com a resultat nombrosos productes i processos innovadors i d'èxit comercial.

La química verda a la indústria

.....

Productes químics més segurs. Les innovacions en aquesta àrea s'orienten a reduir la toxicitat d'una molècula sense sacrificar l'eficàcia de la seva funció. Rohm and Haas, per exemple, ha dissenyat un nou pesticida menys tòxic i més selectiu que els tradicionals pesticides organoclorats (aldrín, dieldrina o DDT), organofosforats o carbamats per al control de lepidòpters que destrueixen plantacions.

Així mateix, l'empresa nord-americana Dow AgroSciences va llançar l'Spinosad, un biopesticida altament selectiu i innocu per al control

d'insectes, que s'obté a partir d'un microorganisme del sòl. Controla nombroses plagues d'insectes que afecten el cotó, els arbres fruiters, les verdures i les plantes ornamentals. A diferència dels pesticides tradicionals, no persisteix en el medi ambient i presenta una baixa toxicitat per a mamífers i aus.

També als EUA, la corporació AgraQuest va desenvolupar un biofungicida, Serenade, per a fruites i hortalisses, obtingut a partir d'una varietat de bacteris naturals.



Serenade no és tòxic per a la resta d'organismes. El biofungicida no genera cap residu químic i és innoce per als agricultors usuaris i per als aqüífers. Està indicat per a l'ús en l'agricultura orgànica segons l'Organic Materials Review Institute (OMRI).

L'empresa nord-americana Nike, que comercialitza sabatilles i roba d'esport, té un programa ambiciós i molt actiu de substitució de productes químics perillosos. Els projectes més remarcables són la substitució de l'hexafluorofosfat de sofre en la cambra d'aire d'alguns dels seus models de sabatilla esportiva, a causa de l'elevat potencial d'efecte d'hivernacle d'aquest gas (18.000 vegades superior al CO₂) i la substitució del 60% dels ingredients de la sola del calçat esportiu per alternatives menys tòxiques.

A Europa, l'empresa Louis Vuitton, que comercialitza productes de marroquineria, té programes d'eliminació i substitució de dissolvents tòxics en els adhesius emprats en



la manufactura dels seus productes. Actualment, els seus proveïdors d'adhesius sense dissolvents tòxics a les plantes de producció espanyoles són empreses japoneses.

Substitució de dissolvents perillosos. El disseny de dissolvents que no siguin inflamables ni tòxics ni produeixin emissions de VOC (compostos orgànics volàtils) és una altra àrea d'intensa investigació a escala internacional.



Per exemple, el diòxid de carboni supercrític s'ha provat en diferents síntesis, com les reaccions de bromació de compostos aromàtics i les reaccions de polimerització del metacrilat de metil amb resultats esperançadors. L'ús de líquids iònics en substitució de dissolvents com el diclorometà és una altra àrea prometedora. Un dels projectes de recerca a IUCT és precisament l'aplicació dels líquids iònics al camp de la química fina.

També són molt nombrosos els estudis encaminats a utilitzar dissolvents aquosos en lloc dels dissolvents tradicionals. Això ha comportat en alguns casos la millora de l'eficàcia, del rendiment i de l'economia dels processos sintètics. Per exemple, l'empresa Nalco Chemical Company ha desenvolupat un nou procés en medi aquós per a la manufactura de polímers líquids.

Tradicionalment, els polímers d'acrilamida d'alt pes molecular, que s'apliquen en gran quantitat en el tractament d'aigües residuals, s'han obtingut en forma de pólvores o emul-

sions d'aigua en oli. El producte en forma sòlida té el problema d'un risc més alt d'exposició a les acrilamides tòxiques per part de les persones que manipulen el producte. A més a més, es necessita una gran quantitat d'energia, no solament per produir-lo sinó també per al seu ús final.

Les emulsions presenten el problema que per preparar-les són necessàries grans quantitats d'hidrocarburs com a dissolvents i substàncies tensioactives. El nou procés de manufactura de Nalco utilitza el mètode de polimerització per dispersió homogènia per generar polímers d'acrilamida en medi aquós i d'aquesta manera elimina la necessitat d'utilitzar dissolvents i tensioactius.

El sector de pintures i vernissos té com a objectiu no només la reducció de compostos orgànics volàtils, sinó també la toxicitat dels dissolvents i coalescents emprats en les formulacions. El monooleat de propilenglicol i alguns acetals de glicerol han estat avaluats per la companyia alemanya Cognis, amb plantes de producció a Catalunya, com a alternatives més segures als productes coalescents existents. Els dissolvents també determinen en gran mesura els perfils (eco)toxicològics de les formulacions agroquímiques. Un dels principals objectius en la indústria agroquímica és el disseny de dissolvents amb la capacitat d'augmentar tant la protecció dels cultius i les plantes com la biodisponibilitat, i de reduir l'impacte sobre el medi ambient i la salut humana. La companyia italiana Isagro Ricerca fa una intensa recerca sobre microemulsions aquoses. Un dels seus èxits més importants són les formulacions microemulsionades, que contenen diversos fungicides de la família dels triazoles i l'estrobilurina, que quan es barregen amb nous dissolvents no tòxics en substitució de dissolvents aromàtics derivats del petroli aconseguixen augmentar els efectes biològics desitjats. La importància de la substitució de dissolvents perillosos rau fonamentalment en les seves propietats adverses en termes de toxicitat i inflamabilitat. Durant el període previ a la celebració dels jocs olímpics a la Xina, el Govern va tancar nombroses empreses en condicions de seguretat i salubritat deplorables

que emetien compostos orgànics volàtils (la major part vinculats amb l'ús de dissolvents) en les proximitats de les seues olímpiques. La premsa internacional especialitzada en química va destacar aquestes mesures tan dràstiques:

«China closes 35,000 unsafe plants»

The Chemical Engineer, març del 2006, p. 9.

«China calls its chemical industry unsafe»

Chemical & Engineering News,
17 de juliol del 2006.

La fotografia següent mostra l'escenari d'un accident recent en una empresa catalana durant l'operació de neteja dels equips amb dissolvents inflamables. Un defecte accidental de les preses de terra durant el traspàs va provocar l'incendi. La seguretat dels treballadors i de les plantes químiques està seriosament compromesa amb l'ús dels dissolvents tradicionals. Els accidents continuats demostren que les mesures de control de risc no són totalment efectives i que l'única estratègia realment segura és l'eliminació de la perillositat intrínseca dels productes químics.

Matèries primeres renovables. Un dels objectius de la química verda és la utilització de matèries primeres que redueixin els seus efectes adversos tant respecte a l'exposició de les persones com respecte a l'impacte ambiental. Actualment, els esforços s'encaminen a utilitzar matèries primeres renovables, com per exemple la cel·lulosa i el midó, enfront de les que no ho són, com el petroli. Hi ha moltes actuacions en aquest camp, com el cas de Biofine Inc., una petita empresa americana que ha dissenyat un procés industrial que transforma biomassa amb alt contingut cel·lulòsic en compostos químics molt útils. Per exemple, els residus derivats de biomassa (els residus sòlids municipals, els residus de paper no reciclables, els residus de fusta i els residus agrícoles) es poden transformar químicament en àcid levulínic, una substància que s'utilitza per a la manufactura de nílons i plàstics i per a la síntesi d'àcid succínic i tetrahidrofuran. Els químics de Biofine Inc.



també han desenvolupat un mètode per convertir l'àcid levulínic en àcid δ -aminolevulínic (ADAL) i metiltetrahidrofuran (MTHF). ADAL és un pesticida biodegradable i no tòxic que s'activa fotoquímicament i té la capacitat de matar les males herbes sense afectar les plantacions principals. L'MTHF és un additiu per a la gasolina que augmenta el seu nivell d'oxigenació.

Els productes químics derivats de fonts naturals constitueixen avui el 0,5% de valor afegit brut a la Unió Europea. Representen un mercat que creix amb rapidesa per les propietats de sostenibilitat que aquests nous productes aporten. La taula de la pàgina següent mostra el programa internacional de llançament de plantes de producció de bioproductes els propers tres anys.

L'empresa NatureWorks (EUA) comercialitza a gran escala l'àcid polilàctic PLA com un termoplàstic biodegradable. La seva temperatura de transició vítria el fa poc apte per contenir líquids calents. Avui s'investiga com preparar un PLA més termoresistent.

El Grup Roquette (França), amb 6.000 treballadors, és una de les empreses líders en la producció de midons i derivats. És l'empre-

sa líder productora de poliols i gluconats. Té divuit fàbriques en tot el món incloent-hi la biorefineria més important basada en cereals a Europa, a Lestrem (França). Roquette, amb altres socis europeus (SIDECA, DSM, Cognis, Eurovia, Arkema, Metabolic Explorer, Solvay, l'Institut de Ciències Aplicades de Lió –Insa– i l'Institut de Molècules i de la Matèria Condensada de Lille –IMMCL–), han creat el programa BioHub amb l'objectiu d'investigar vies per a la transformació de midons en productes d'alt valor afegit. El programa té un pressupost de 90 milions d'euros per a sis anys de recerca. Està parcialment finançat per l'Agència Francesa per a la Innovació Industrial (42 milions d'euros, 22 milions de subvenció + 20 milions de crèdits reemborsables).

Els objectius tècnics són la transformació del midó en una molècula plataforma anomenada isosorbida que es transformaria en biodissolvents, bioplastificants, biolubrificants, biopolímers i altres productes químics funcionals.

La companyia química alemanya BASF ja comercialitza un polímer biodegradable (Ecoflex) amb propietats excel·lents per fabricar bosses de plàstic per a supermercats i aplicacions agrícoles.

Companyia	Font de carboni	Molècula plataforma	Producte	Llançament
Futero (BEL)	Sucre	Àcid làctic	PLA* 1,5 kt	2009
CSM (THA)	Sucre	Àcid làctic	PLA* 75 kt	2011
Braskem (BRA)	Sucre	Etanol	Etilè	2010
Perstorp (SWE)	Midó/Sucre	Àcid 3-hidroxipropiònic	Àcid metacrílic	2012
Genomatica (USA)	Sucre	1,4-Butandiol	Molècula plataforma	2010
Genencor/Goodyear (USA)	Panotxes de blat de moro	Isoprè	Gomes	2013
Solvay Indba (BRA)	Sucre	Etanol 60 kt	Etilè PVC	2010
Dow/Crystalsev (BRA)	Sucre	Etanol 350 kt	Etilè	Pendent de decidir

* PLA: àcid polilàctic



Novamont, una empresa italiana, comercialitza bioplàstics fets a partir de matèries primeres d'origen agrícola. Un dels més populars és el Mater-Bi i el consumeixen nombrosos supermercats espanyols. El seu programa d'inversions va començar el 1989 coincidint amb l'establiment de la nova legislació ambiental als USA, la *Pollution Prevention Act*, i el naixement d'una nova disciplina anomenada química verda. Des de llavors, hi ha invertit més de 75 milions d'euros. L'empresa, amb aproximadament 100 treballadors, té

tres línies de producció situades a la planta de Terni (Itàlia) que li donen una capacitat global de producció de més de 20.000 tones/any.

Síntesis químiques menys contaminants

Lilly Research Laboratories va redissenyar la seva síntesi d'una droga amb propietats anticonvulsives, LY300164. Aquest fàrmac s'usa per tractar l'epilèpsia i malalties neurodegeneratives. La síntesi antiga consistia en un procés econòmicament viable, tot i que alguns passos de la síntesi eren problemàtics. Per exemple, es produïen elevades quantitats de residus de crom, es necessitava un pas addicional d'activació i tot el procés requeria grans quantitats de dissolvents.

La nova estratègia sintètica va significar una important millora ambiental del procés. Es van eliminar aproximadament 34.000 litres de dissolvents i 300 kg de residus de crom per cada 100 kg d'LY300164 produïts. Solament va caldre aïllar tres dels sis intermedis de síntesi. Es va reduir l'exposició dels treballadors a agents nocius i es van reduir significativament els costos de procés. El nou esquema sintètic va resultar més eficient que l'anterior; i va passar d'un rendiment del 16% al 55%. El nou protocol va ser possible combinant innovacions provinents de la química, la microbiologia i l'enginyeria. El procés ha resul-

Els productes químics

derivats de fonts

naturals constitueixen

avui el 0,5%

del valor afegit brut

a la Unió Europea.

tat d'aplicació general i a causa del baix cost de les tecnologies utilitzades tindrà de ben segur una àmplia aplicació dins el sector.

El cas de Roche Colorado Corporation, un centre de desenvolupament de processos de segona generació que va ser guardonat als Estats Units en matèria de producció neta —el Premi Presidencial de Química Verda— consisteix en el desenvolupament d'una nova i eficient síntesi d'un potent agent antiviral (Cytovene®). Aquesta droga s'utilitza per al tractament d'infeccions oculars en pacients immunosuprimits. Els beneficis ambientals del nou procés, batejat com a procés TriEster Guanina, són igualment importants quan es comparen amb la síntesi tradicional. El nombre de passos de síntesi s'ha reduït de sis a dos; el nombre de reactius i intermedis s'ha reduït de 22 a 11; a més, tres de cada quatre reactius clau es recuperen i es reutilitzen; i el rendiment global de la síntesi s'ha incrementat en més d'un 25%. El procés també implica una reducció important de la contaminació

en origen: s'han eliminat 1,12 milions de quilos de residus líquids i 25.300 kg de residus sòlids a l'any. L'FDA (Food and Drug Administration) ha registrat el procés TriEster Guanina com el procés de manufactura per a la producció mundial de Cytovene® i també és aplicable a la síntesi d'altres agents antivirals.

Donlar Corporation, també guanyadora del Premi Presidencial de Química Verda dels Estats Units, és una empresa de 56 treballadors que factura 5 milions de dòlars anuals. Donlar ha desenvolupat un mètode per comercialitzar poliaspartat tèrmic (PAT) com a agent inhibidor de la deposició de productes insolubles en canonades, bombes, torres de refrigeració, condensadors i evaporadors, en substitució del polímer de poliacrilat (PPA). Aquest últim, tot i que és un producte relativament poc tòxic, no es biodegrada amb facilitat i, per tant, s'ha de separar de l'aigua amb tractaments fisicoquímics, i dona com a resultat un fang insoluble que s'ha de dipositar en abocadors.

El PAT es produeix a partir de l'àcid aspàrtic en una reacció que no utilitza dissolvents orgànics i que no genera pràcticament subproductes. A aquest avantatge ambiental s'afegeix que el PAT no és tòxic i es pot utilitzar en moltes de les aplicacions en què s'usa el PPA. A més, el PAT és biodegradable perquè es transforma en CO₂, H₂O i biomassa per l'acció dels microorganismes a les plantes depuradores de fangs activats. Per tant, el PAT, a diferència del PPA, no s'ha d'eliminar de l'aigua residual i, en conseqüència, no és necessària la disposició en abocadors.

La química verda al món

La química verda és una ciència que ha arrelat arreu del món. Els EUA han estat històricament el país més actiu en la promoció de la química verda. En aquest sentit, l'interès de l'Agència per a la Protecció del Medi Ambient (US EPA) per la química verda va començar poc després de la publicació de la Directiva per a la prevenció de la contaminació.

Els EUA han estat històricament el país més actiu en la promoció de la química verda.

Van ser tècnics de l'Oficina per a la Prevenció de la Contaminació i els Compostos Tòxics (OPPT) els qui van començar a explorar la idea de desenvolupar nous productes químics i nous processos, o de millorar els ja existents per fer-los menys perjudicials per a la salut humana i el medi ambient. El 1992, l'OPPT va crear un programa de subvencions anomenat Alternative Synthetic Pathways for Pollution Prevention. Aquest programa va proporcionar, per primera vegada, ajuts per a projectes de recerca que inclouen la prevenció de la contaminació en la síntesi de productes químics. Des de llavors, el programa de química verda ha establert nombroses col·laboracions amb altres agències federals, amb la indústria i amb centres de recerca per potenciar l'ús de la química per a la prevenció de la contaminació i els riscos per a la salut humana.

El suport governamental creixent a la química verda es va fer palès el 1995, quan el llavors president Clinton va anunciar el programa Presidential Green Chemistry Challenge per promoure la prevenció de la contaminació i l'ecologia industrial mitjançant una estreta col·laboració de l'EPA amb la indústria química. A partir d'aquesta data es van lliurar els premis anomenats Presidential Green Chemistry Challenge Awards. Així mateix, es va crear un centre on es gestionen i s'organitzen moltes iniciatives en el camp de la química verda, el Green Chemistry Institute. Avui en dia el Green Chemistry Institute forma part de l'American Chemical Society.

A la Unió Europea, la patronal de les indústries químiques Cefic i l'associació d'indústries biotecnològiques EuropaBio, juntament amb la Comissió Europea, van llançar el 2005 la iniciativa SusChem (química sostenible), una plataforma tecnològica que té la missió de definir les agendes estratègiques de recerca i el pla d'implementació corresponent. Aquestes agendes determinen les àrees de la química que són susceptibles de finançament per part dels programes de suport a la recerca en l'àmbit europeu. Els principals pols de recerca en el camp de la química verda a Europa es troben al Regne Unit, Alemanya, Espanya i França.

Altres països que destaquen pel seu dinamisme en el desenvolupament de la química verda inclouen el Japó, on els líders científics i polítics es van adonar, ara fa deu anys, que la química verda seria un aliat estratègic per impulsar el gir de la indústria química pesant cap a la fabricació de productes químics de més alt valor afegit. L'Índia i la Xina han esdevingut les noves potències productores de substàncies químiques. Ambdós països reconeixen la importància de no caure en els mateixos problemes de contaminació que els països occidentals van patir al llarg de la seva història de desenvolupament industrial. Per aquest motiu, els seus governs financen nombrosos projectes de química verda als instituts i als centres de recerca en química verda establerts a les universitats més prestigioses.

La situació a Catalunya

Catalunya té prou potencial investigador i industrial per afavorir la transició des de productes químics tradicionals cap a productes químics sostenibles. L'especificitat i les particularitats de la indústria química catalana en aquest moment defineixen les possibilitats i les rutes que pot adoptar aquesta transició industrial.

Per una banda, les grans empreses químiques com Ercros, productor del clorur de polivinil (PVC), i La Seda, que produeix el polil (tereftalat d'etilè) (PET), tenen programes de recerca en biopolímers i polímers reciclats. L'empresa oleoquímica Cognis ja comercialitza amb èxit dissolvents verds en sectors com l'agroquímic i el de pintures i vernissos. D'altra banda, Catalunya té un conjunt d'empreses de mida mitjana, caracteritzades per la seva capacitat de transformar matèries primeres com monòmers o polímers i additius en formulacions i materials (plàstics i recobriments emprats en automoció, construcció i alimentació). Sorprenentment, aquestes empreses tenen una capacitat intrínseca d'innovació i recerca, que recentment estan orientant cap a productes químics sostenibles. Aquesta línia de recerca està determinada en gran mesura



**Catalunya té prou
potencial investigador
i industrial per
afavorir la transició
des de productes
químics tradicionals
cap a productes
químics sostenibles.**



per la demanda procedent de *retailers*, entre els quals destaquen Ikea, Nike, L. Vuitton, Volkswagen i nombroses empreses de l'automoció, la construcció i l'electrònica de consum. Per exemple, l'empresa Merquinsa competeix al mercat internacional del poliuretà tèrmic amb monòmers d'origen renovable.

IUCT, una empresa catalana de recerca química, és pionera al món en el desenvolupament de productes químics verds. Ha estat investigant dissolvents innocus per aplicar-los a diferents processos industrials. També ha enfocat la recerca cap a la producció de biocarburants. Els químics d'aquesta companyia es van adonar que la producció del biodièsel només presentava una economia d'àtoms del 90%. Aquest fet penalitza l'eficàcia sintètica i, per tant, l'economia global del procés. La solució al problema va ser la transformació dels subproductes de la síntesi original en una molècula que presenta característiques similars al biodièsel. La tecnologia ha estat patentada en diversos països del món i actualment està en fase inicial d'exploració. Una altra contribució significativa d'IUCT ha estat el descobriment d'un procés de producció d'agents antivirals mediat per enzims com a alternativa a l'ús de catalitzadors químics convencionals. Com a resultat de l'èxit de la recerca es va constituir una empresa derivada (*spin-off*), Plasmia-Biotech, que explota aquesta tecnologia.

No hi ha dubte que amb un mercat de productes químics verds creixent entre el 15% i el 20% els últims anys, la química verda és una gran oportunitat per al desenvolupament científic i empresarial a Catalunya. Cal aprofitar-ho.

El futur de la química verda

Un dels reptes més importants per als químics és el disseny de substàncies químiques verdes i, al mateix temps, eficaces per a la funció que han de dur a terme. Sovint, petites modificacions de l'estructura química

per evitar propietats perilloses com la neurotoxicitat, la inflamabilitat o el potencial de destrucció de la capa d'ozó, tenen com a resultat una pèrdua d'eficàcia pel fet que una o diverses propietats que determinen l'eficàcia de l'ús d'una determinada substància deixen d'estar en els rangs òptims. Aquesta situació ha donat com a fruit, al llarg de la història de la química industrial, la selecció de substàncies que són un compromís pobre entre l'eficàcia tècnica, la seguretat química i el seu preu.

Els professionals del disseny de productes químics no reben formació adient en els programes oficials de les facultats de química en toxicologia, impacte ambiental de productes químics o seguretat química. De manera que els químics no tenen, en general, el coneixement necessari per dissenyar productes químics innocus per al medi ambient i la salut humana.

D'altra banda, la ciència toxicològica encara està lluny de disposar de mètodes generals fermes de predicció de la toxicitat, d'entendre les interaccions entre productes químics i dianes biomoleculares toxicològicament rellevants. És necessària una comprensió holística de les respostes cel·lulars als compostos tòxics. Tot i que l'ús de mètodes i dades de la toxicogènica, la transcriptòmica, la proteòmica i la metabolòmica planteja una via molt prometedora per incrementar el coneixement sobre la toxicitat química, hi ha molts reptes tècnics que cal resoldre abans que les dades es puguin reduir al nivell en què puguin informar sobre la selecció i el disseny d'un gran conjunt de productes químics.

En conclusió, el desenvolupament de la química verda estarà fortament influenciat per la qualitat de l'educació dels joves químics, la seva capacitat per resoldre problemes complexos amb optimització de múltiples variables simultàniament, l'existència de mecanismes adequats per permetre la transferència eficient de la recerca a projectes industrials i, en últim terme, per l'interès dels emprenedors envers la química verda.

Breu història de la química verda

1995: El president Bill Clinton concedeix el primer premi presidencial de química verda **Presidential Green Chemistry Challenge Awards**, amb què es guardonen científics i empreses que han desenvolupat productes i processos químics verds produïts als EUA. <http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/pgcc/past.html>.

1997: Fundació d'IUCT a Catalunya, la primera empresa al món que té com a missió dissenyar productes i processos químics verds.

1999: IUCT organitza la primera **Conferència Internacional de Química Verda (GCC)**, que té lloc a Barcelona. La 9a GCC es va celebrar a Alcalá de Henares el 2011. www.iuct.net.

1999: IUCT firma un conveni de cooperació amb l'**Associació Espanyola de Fabricants de Productes de Química Fina (AFAQUIM)** amb l'objectiu d'impulsar projectes de recerca en química verda.

2000: Anastas i Warner publiquen els dotze principis de la química verda. Anastas, P. T., i Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, 2000.

2003: El març del 2003 es funda a Saragossa la Xarxa Espanyola de Química Sostenible (REDQS per a les sigles en castellà) amb l'objectiu de promoure la química sostenible en els aspectes educatius i científics. Actualment, la REDQS té representants en més de trenta universitats i centres de recerca espanyols.

2004: Es presenta per primera vegada la plataforma tecnològica de química sostenible (**SusChem**) en una roda de premsa a Brussel·les. El novembre del 2004 es publica el document «The vision for 2025 and beyond» ('La visió per al 2025 i més enllà') durant el First SusChem Stakeholder Meeting. http://www.suschem.org/upl/3/default/doc/38_2170ctp_final.pdf.

2005: Neix la plataforma nacional **SusChemES (Plataforma Tecnològica Espanyola de Química Sostenible)**. IUCT representa ASE-BIO (l'Associació Espanyola de Bioempreses) al Consell Gestor: www.pte-quimicasostenible.org.

2005: S'aprova la proposta del projecte europeu Solvsafe presentada en el 6è Programa marc de la UE. Solvsafe, coordinat per IUCT, és el primer consorci industrial europeu liderat per empreses espanyoles que dissenya i investiga dissolvents sostenibles. El projecte es va completar amb èxit el març del 2009. ●

.....
Per a més informació:

Pàgina web de la Xarxa Espanyola de Química Sostenible
www.redqs.org
Recentment s'ha creat la pàgina de la REDQS a Facebook.

Pàgina web d'IUCT
www.iuct.com

Pàgina web de l'ACS Green Chemistry Institute
http://portal.acs.org/portal/acs/corg/content?_nfpb=true&_pageLabel=PP_TRANSITIONMAIN&node_id=830&use_sec=false&sec_url_var=region1&_uuid=de1035bc-7435-4edc-a8bd-2f985566b716

ESTÉVEZ, C. «Sustainable Solutions – Green Solvents for Chemistry», a HÖFER, R. (ed.) *Sustainable Solutions for Modern Economies*, RSC Green Chemistry Series, 2009



No hi ha «química verda» sense una «societat verda»

*«El problema són els
contaminants emergents:
productes sintètics que
poden ser biodegradables
i que, tanmateix, tenen un
temps de residència al medi»*



Xavier Doménech Antúnez
Departament de Química,
Universitat Autònoma de Barcelona

*«Quan els humans progres-
sem generem problemes amb
els quals no comptàvem»*



Josep Castells Boliart
President de l'Institut Universitari
de Ciència i Tecnologia (IUCT)

Michele Catanzaro
Doctor en física
i periodista científic freelance

Xavier Doménech i Josep Castells dialoguen sobre la percepció social al voltant de la química, sobre estils de vida i consum i sobre els reptes que té per davant un sector que s'esforça per ser més sostenible i més curós amb l'entorn.

Després dels accidents dels anys setanta i vuitanta, com els de Seveso i Bhopal, la indústria química va caure en un descrèdit tan gran, que des de llavors ha apostat fort per la química verda. Avui, al món desenvolupat els residus són tractats i reduïts, i els processos, optimitzats per produir el mínim de deixalles i consumir el mínim d'energia: hi ha poc marge de millora en aquest àmbit. Però encara hi ha molts reptes pendents. Mentre que els nous productes controlen de manera estricta el seu potencial tòxic, encara són en bona part desconegudes les propietats de 100.000 compostos que es van sintetitzar abans dels anys noranta: el Reglament REACH pretén posar-hi ordre. La química s'encara amb el repte de la innovació: produir nous materials que substitueixin els de toxicitat comprovada o sospitada. Al món en desenvolupament, el repte és la desregulació del sector, encara predominant. Però tots els esforços per millorar aquests aspectes seran inútils, afirmen Doménech i Castells, si la societat no es replanteja el model de consum: un model que aboca al medi ambient (i, finalment, al mateix cos humà) una quantitat exagerada de compostos.

MC: Avui *químic* és un adjectiu gairebé despectiu: realment el balanç de la indústria química és globalment negatiu?



JCB: Tots els excessos poden fer mal. Una activitat tan sana com l'agricultura o la ramaderia poden generar problemes greus, com els purins o els residus de les desforestacions. Només pel fet de viure, els humans generen una gran quantitat de deixalles. Com les altres activitats, la indústria (i la química com qualsevol altra indústria) pot generar problemes. Quan els humans progressem, generem problemes amb els quals no comptàvem. Però cal fer un balanç entre els beneficis i els problemes del progrés i anar avançant per resoldre els problemes. També cal recordar que la causa principal de contaminació és el transport, la segona són les grans urbs, i la indústria en conjunt és només la tercera. El problema és que la indústria és una causa localitzada i ben visible.



XDA: La química ha contribuït a socialitzar els béns de consum, ha abaratit béns que abans eren difícils d'aconseguir, per exemple el cotxe. Fins fa poc, se sintetitzaven productes i es posaven als béns de consum sense ser conscient dels danys que podien comportar per al medi. Gràcies a la millora de la instrumentació analítica i de la toxicologia, hem comprovat que alguns d'aquests compostos poden generar problemes, i llavors hem intentat introduir-hi remeis. Ara, cal capgirar aquesta lògica: abans



El principi

de precaució diu que

si sospites que un

producte pot

causar danys,

has d'evitar fabricar-lo

o intentar fer-ne

avaluacions de risc.



d'introduir el compost, cal desenvolupar metodologies que intentin demostrar que aquell compost no tindrà cap efecte en el medi ambient. Aquest principi de precaució està al cor de la química verda i del Reglament REACH.

MC: És factible que s'apliqui sempre aquest principi de precaució?



JCB: La definició del principi és perfecta, però es fonamenta sobre la ciència disponible, no sobre allò que es coneixerà d'aquí a vint anys: sempre poden sorgir imprevistos.



XDA: Tanmateix, dels 100.000 productes llistats en l'inventari del 1991, no es disposa de cap tipus d'informació, malgrat que la ciència hagi anat evolucionant. Només tenim alguna informació toxicològica d'un 25%.



JCB: És cert, però també hi ha un coneixement fonamentat en l'experiència: en alguns casos, pots saber que un producte és innoce perquè durant 200 anys ha estat al mercat i no ha fet cap mal. De la mateixa manera que saps què pots menjar i què no pots menjar.



XDA: En realitat, la frontera és difusa, com es veu amb els contaminants emergents, compostos sintètics que se sospita que poden generar algun problema. La sola sospita és suficient per prendre mesures? El principi de precaució diu que si sospites que un producte pot causar danys, has d'evitar fabricar-lo o intentar fer avaluacions de risc.



JCB: El més lògic seria verificar si la sospita és una amenaça real o infundada.



XDA: I si no ho saps? O en tens dubtes? Es pot assegurar que un compost és perillós en unes determinades concentracions, però és més difícil comprovar si una exposició continuada a concentracions molt baixes pot generar algun problema.



JCB: Això passa també amb els aliments tradicionals. Si et prens 38 litres d'aigua en un dia, t'agafa un xoc electrolític: podem dir que l'aigua és perillosa?

MC: En quants casos es dóna realment aquest dilema: si s'apliqués el criteri de precaució hauríem de treure del mercat una gran quantitat de productes?



XDA: No, es tracta d'una minoria de casos. En els nous productes que se sintetitzen és necessari informar sobre les propietats, i en els casos més complexos fer una avaluació del risc. El problema és que hi ha poca informació sobre els compostos existents.



JCB: Un problema relacionat amb això és la globalització. La majoria de la fabricació i de la química bàsica s'ha decantat cap a Àsia, on hi ha molta demanda i una legislació més lleugera. A Europa la societat ja està acomodada, i vol menys problemes ambientals i de salut. A Àsia, volen sortir de la pobresa i per ells el medi ambient és secundari: fa 30-40 anys passava el mateix aquí. En aquest escenari, fer regulació en l'àmbit d'un sol país no té cap sentit: o es fa globalment o no té sentit.



XDA: Tanmateix, la Unió Europea i els EUA encara exerceixen un cert lideratge, i les seves lleis també s'apliquen als productes importats.



JCB: Sí, però aquestes lleis acaben afectant només el producte final, no el procés de fabricació.

MC: Quins són els principals impactes sobre el medi ambient i la salut dels productes químics?



XDA: Els compostos sintètics amb impacte són pocs: els que són molt bioacumulatius i persistents acaben sent tòxics, si assolixen certes concentracions i tenen la capacitat de migrar a diferents llocs del planeta. Aquests contaminants orgànics persistents estan bastant regulats per acords internacionals, que inclouen una llista amb dotze famílies de compostos, la qual es va actualitzant periòdicament. El problema actual és el dels contaminants emergents: productes sintètics que poden ser biodegradables i que, tanmateix, tenen un temps de residència al medi. Això depèn de si es consumeixen molt i del fet que tinguin un flux alt de sortida. Per exemple, els productes farmacèutics poden ser innocus —es metabolitzen i es degraden al medi ambient— però com que es consumeixen molt, tenen molta residència al medi: se'n detecten concentracions molt baixes, de micrograms i nanograms per litre, que produeixen un còctel a l'aigua que genera impactes en l'ecosistema i es queden a l'aigua fins i tot després de la potabilització. En aquests casos hi pot haver efectes crònics. Un altre exemple és la típica olor d'un cotxe nou. El dia que et donen el cotxe, en el seu ambient tancat hi ha centenars de productes orgànics que després d'una setmana han baixat de concentració, però abans tu els respires. Fan mal? Hi ha un cert debat sobre això, i cal calibrar el risc i el benefici.



JCB: Majoritàriament estem parlant de problemes mediambientals i de salut deguts a l'ús dels compostos, no a la seva fabricació. La indústria química va generar problemes al seu dia, però ja s'ha posat les piles i ha canviat les pràctiques. Avui, el que ens hem de plantejar és si efectivament als cotxes nous s'hi han de posar tots els plàstics que hi ha, no tant com es fabriquen aquells plàstics.

MC: Aquesta decisió de què depèn?



JCB: Depèn de la societat, no de la indústria.



XDA: Si volem cotxes barats, cal posar-hi plàstics, i additius perquè els plàstics no s'inflamin. Volem cotxes barats i segurs, amb *airbags* i que no s'incendiïn amb una espurna? O estem disposats a no posar-hi additius? El debat real és al voltant de la societat de consum.

MC: Com es pot encarar un problema d'aquest tipus?



JCB: Es pot dir: «si us plau, no consumeix productes no fabricats a la Unió Europea, on no s'apliquen les millors regles; consumeixi amb responsabilitat». Però això implicaria pagar el doble i el triple per les coses que consumim: estem disposats a fer-ho o més aviat anem cap a un model on tot és low cost?

MC: Hi ha mesures per quantificar l'impacte dels compostos químics al medi ambient i a la salut?



XDA: Hi ha la determinació de la concentració al sòl, als sediments, a la sang de mostres de població i a la dieta. I després hi ha la toxicologia: esbrinar si certes concentracions tenen efectes aguts o crònics.



JCB: És molt difícil aplicar aquestes anàlisis a tots els compostos: analitzar 100.000 productes contemporàniament en tots aquests medis és gairebé impossible.



XDA: Però es pot prioritzar: en primer lloc, cal fixar-se en els productes més acumulatius i bioresistents, sobretot els de

gran producció, per damunt de 1.000 tones l'any. El REACH exigeix que en aquests casos les empreses es responsabilitzin del producte aigües avall, mitjançant una avaluació del risc.

MC: Quin és el nivell de contaminació al nostre entorn?



XDA: És semblant al de qualsevol país de la Unió Europea. Hi ha problemes, però són molt puntuals, i lligats a gestions de fa 30 o 40 anys: els sediments de Flix, l'abocador de Can Planes de Cerdanyola... Com a la resta d'Europa, el problema són els contaminants emergents: per exemple, la concentració de plàstics, la pols domèstica o els fàrmacs als rius.



JCB: Imaginem que es detecta al Llobregat un medicament oncològic que s'utilitza per curar el càncer de mama. La societat ha de decidir si en prohibim l'ús. Quina prioritat donem: salvar vides humanes o salvar els peixos del Llobregat?



XDA: De fet, fàrmacs tan agressius se solen consumir relativament poc, i les noves molècules han de ser biodegradables. Els problemes reals provenen de fàrmacs molt comuns com l'ibuprofè, el paracetamol, el diazepam... Hi ha una qüestió social de fons: estem acostumats a consumir massa fàrmacs.

MC: En quines circumstàncies neix la química verda? Què ens empeny cap a aquest canvi?



XDA: Els accidents de Seveso i Bhopal van generar la idea que la química és bruta. Per tal d'augmentar la confiança en la indústria química, aquesta va intentar posar-hi remei a través del programa de cura responsable (responsible care), l'avantpassat del que ara anomenem «responsabilitat social de les empreses». Això es va aconseguir mitjançant la pressió social i la legislació.



.....

**Els incidents dels anys
vuitanta van fer molt
de mal a una disciplina
científica fonamental
per a la societat.**

.....



JCB: Jo crec que la causa de fons és l'evolució de la societat cap al benestar: primer vam assolir el benestar i després ens vam posar a resoldre els problemes que això ha generat, com els accidents, les males pràctiques, o problemes dels mateixos productes.

MC: En què consisteix fer química verda?



JCB: El primer que es va fer, durant els anys vuitanta, va ser més aviat una reacció d'urgència, un intent de resoldre els problemes al final de la canonada: tractar i confinar els residus, aïllar-los sense eliminar-los. El segon pas va propiciar el naixement de la química verda: la idea era ser més creatius, millorar la manera de treballar, fer els mateixos productes d'abans però canviant el procés. L'objectiu, en lloc de produir molts residus perillosos i després tractar-los, era canviar el procés per produir-ne menys.



XDA: La filosofia consisteix a estendre els límits. Fins aleshores, el químic o l'enginyer químic mirava només el seu vas de precipitats o el seu reactor i només intentava augmentar-ne el rendiment, al cost més baix possible. Ara, el químic ha de mirar no només el tub d'assaig o el reactor, sinó també els recursos, la biodegradabilitat, la societat on es troba...



JCB: Es tracta de posar més variables a l'hora de dissenyar el procés. Això és molt complicat i no es canvia de la nit al dia. Però també fa reduir els costos: els anys seixanta, els residus no es tractaven, mentre que a partir dels vuitanta tractar-los començava a tenir un cost. Això va fer entrar en joc un procés d'innovació i va portar a la redefinició d'una indústria madura, que produïa els compostos d'alt tonatge més o menys de la mateixa manera des de fa 100 anys. La primera onada de la química verda consisteix a canviar els processos per tenir menys residus. Després hi ha una segona

onada, basada a redissenyar els mateixos productes. Actualment, hi ha poc marge per millorar l'impacte ambiental en el procés de fabricació. El problema que estem detectant ara és com arriba el producte a la societat i s'escampa pel medi.

MC: Quins són els reptes oberts?



JCB: En primer lloc, reduir els costos de les avaluacions de risc: actualment tenen un cost molt alt. Això es pot fer desenvolupant mètodes d'experimentació *in vivo* o *in silico* [de simulació amb l'ordinador]. L'altra vessant és aprofundir en la toxicologia dels efectes crònics.



XDA: Algunes disciplines estan en creixement, com l'ús de matèries primeres renovables, un repte industrial molt gran. Un altre sector és la biotecnologia industrial, una de les tècniques que s'utilitzen per millorar els processos ja existents i per introduir nous productes. Respecte a la nanotecnologia hi ha molts dubtes de com s'introduirà en la societat. Però el repte més important de la química verda és que sigui viable econòmicament. Es poden fer moltes coses fantàstiques en química a escala toxicològica, però si ningú no les compra serà inútil. Cal vèncer l'economia: el factor que fa que un producte entri al mercat no és que sigui el millor, sinó que l'economia et permeti ser competitiu fabricant aquell producte.

MC: Quins són els casos d'èxit de la química verda?



JCB: Els biocarburants en són un exemple: el biodièsel fa servir un recurs renovable a canvi d'utilitzar petroli, i això ho ha fet la indústria química. Els crítics diuen que consumeix recursos que podrien anar a l'alimentació, però hi ha molta demagogia respecte a aquest punt: els preus dels aliments pugen i baixen i mentrestant la producció de biodièsel i bioetanol continua pujant. Els problemes en els preus dels aliments provenen de l'especula-

ció dels mercats, no tenen res a veure amb el biodièsel. Els biocarburants es fan servir cada cop més, però això passa perquè hi ha una aposta política. Si només es valoressin els factors econòmics purs, ningú no els utilitzaria: la fabricació d'un litre de benzina pot costar 30 cèntims, sense impostos, mentre que el bioetanol en costa uns vuitanta. La política permet igualar els costos per una decisió de la societat. Un altre exemple d'èxit és la fabricació de la Viagra. El primer procés tenia més de 10 etapes de síntesi, amb tones de residus per cada quilo de producte. Es va treballar en una segona generació de procés, que va disminuir fins a més de la meitat els passos de síntesi i va retallar un 80% els residus que es generaven. Abans tots els residus es tractaven, però en el procés nou se'n genera un 80% menys i s'estalvien costos. Un altre èxit és el llançament de nous dissolvents, que encara no han entrat amb força al mercat.

MC: Si el coll d'ampolla per a la química verda és el problema dels costos, això es resol només amb taxes o multes?



JCB: El problema de fons és el model de societat que tenim. Per exemple, la recollida de residus urbans també implica un increment de costos, però com a societat hem decidit dur-la a terme.



XDA: Un altre exemple seria el reglament de les bosses de plàstic. Cal un incentiu polític. Per exemple, mitjançant taxes es pot incrementar el preu del cotxe privat, i això fomentaria el transport públic, el car-sharing, etc.



JCB: El problema és que aquestes intervencions impliquen collar el consum. Però no queda gran cosa més per fer: la indústria ja ha fet els seus deures.

MC: Hi ha molta gent crítica amb el Reglament REACH: quin balanç en feu?



XDA: Jo ho considero un bon avenç. El que es demana amb el Reglament REACH és que les empreses donin la informació toxicològica i les propietats fisicoquímiques dels seus productes, però la normativa prioritza entre els molts compostos. Els crítics voldrien tota la informació sobre tots els productes amb el mateix nivell d'exigència. Així mateix, el Reglament REACH permet l'autorització durant un temps determinat i en un lloc determinat abans de procedir a la substitució, i això no agrada a alguns crítics. Des del meu punt de vista, el problema és que aquesta normativa arriba molt tard: s'ha trigat molt a obtenir-la.



JCB: Jo crec que és un primer pas, que ha de tenir continuïtat. Però el canvi no serà immediat. Hi ha una llista de productes assenyalats, que cal substituir tan bon punt sorgeixi una alternativa. Però això no és fàcil: la investigació triga molt i després s'han de fer tots els controls.



XDA: Fins ara, la innovació estava bloquejada per la gran massa de productes existent. Per comercialitzar un nou compost es demanava una sèrie d'avaluacions que no es demanaven amb els compostos existents. Ara, el REACH equipara els nous productes i els antics, i això és un incentiu a la innovació.

MC: Els químics i els enginyers químics surten de les facultats preparats per fer química verda?



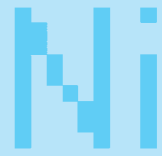
XDA: Cada vegada es troba més presència de la química verda als currículums. Però hi ha un problema que comparteixen tots els professionals químics: la manca d'ètica en la seva formació. La química verda és un tema ètic: no mirar només l'eficiència d'un producte, sinó ampliar els límits, valorar si és bo per a la societat, si malmetrà recursos...



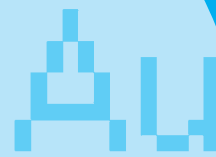
JCB: Els incidents dels anys vuitanta van fer molt mal a una disciplina científica fonamental per a la societat. La química per se no és ni bona ni dolenta: és conèixer com podem modificar les coses que tenim al nostre abast perquè siguin més útils a les persones. Però la mala premsa generada ha afectat el volum de vocacions i això és un problema greu. Els químics són els únics que poden resoldre els problemes de la química. La comunicació al voltant d'aquesta disciplina ha fet molt mal. ●



POLÍTIQUES PÚBLIQUES



Química verda: cap a un model eficient i d'alta qualitat ambiental



Assumpta Farran
Directora general de Qualitat Ambiental
de la Generalitat de Catalunya

L'article presenta les àrees de la química verda i argumenta que Catalunya ha estat pionera a Espanya en l'impuls normatiu i en l'aplicació de sistemes de qualificació ambiental.

La química verda, també anomenada *química sostenible*, s'ha definit com el disseny, la manufactura i l'ús de substàncies químiques i de processos que redueixen o eliminen la generació de residus i d'emissions de productes nocius per al medi ambient o la salut humana.

La química verda utilitza principis químics que garanteixen no solament l'assoliment dels objectius econòmics de les indústries, sinó també els objectius de qualitat ambiental.

La química verda presenta cinc **grans àrees** d'interès:

- I. **Matèries primeres renovables** que redueixin els efectes adversos, tant respecte a l'exposició de les persones com respecte a l'impacte ambiental.
- II. **Rutes sintètiques de baix impacte ambiental**, per proporcionar noves síntesis que redueixin, en conjunt, l'ús intensiu de matèries primeres, energia i residus (especialment les que són més tòxiques o difícils de tractar).
- III. **Substitució dels dissolvents tradicionals** i recerca de dissolvents que no siguin inflamables, ni tòxics, ni produeixin emissions de VOC (compostos orgànics volàtils).

IV. **Reactius «verds»** més benignes, que substitueixin els reactius perillosos.

V. **Productes químics més segurs**, orientats a reduir la toxicitat d'una molècula sense sacrificar l'eficàcia de la seva funció.

En definitiva, es podria definir la química verda com l'aplicació de tecnologies netes al sector químic, en el sentit que les emissions i els residus relacionats amb la fabricació i l'ús dels productes, així com amb la gestió d'aquests quan esdevenen residus, es minimitza tant com sigui possible, i tan a prop com es pugui de la font de producció.

Tant és així que els mateixos **documents de referència (BREF) sobre les millors tècniques disponibles aplicables a diferents subsectors de la indústria química que adopta la Comissió de la UE** (pel que fa a la química fina orgànica, la producció de grans volums de productes químics orgànics, la producció de grans volums de productes químics inorgànics la química fina inorgànica, etc.) **recullen els principis que inspiren la química verda.**

A l'Estat espanyol la química verda no es pot considerar una activitat generalitzada i és des de Catalunya des d'on s'impulsa principalment aquesta disciplina, probablement perquè és aquí on es concentra una gran



● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

**A l'Estat espanyol la
química verda no es pot
considerar una activitat
generalitzada i és des
de Catalunya des d'on
s'impulsa principalment
aquesta disciplina.**

● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

part de la indústria química de tot l'Estat, tant de base, com fina, farmacèutica, d'especialitats, etc.

El medi ambient a Catalunya és molt divers, però també és fràgil, i la gran quantitat d'activitats industrials (35%), agrícoles i ramaderes (45%) i de serveis (20%), juntament amb el factor de la concentració d'activitats i de població en determinades àrees (àrea metropolitana de Barcelona, Camp de Tarragona i les comarques del Vallès i d'Osona), fan que, sobretot en aquestes àrees, la càrrega contaminant que rep el medi ambient (generació de residus, aigües residuals, contaminació atmosfèrica) no sigui precisament irrellevant. Per això cal aconseguir uns fluxos energètics, de producció i de valorització de la matèria i l'energia, que presentin el nivell d'eficiència màxima, de manera que, tant per l'aplicació d'iniciatives innovadores en un lloc, com per l'aplicació de les millors tècniques disponibles i de les millors pràctiques ambientals fruit d'un intercanvi d'informació i experiències en l'àmbit de la Unió Europea, en totes les activitats en què sigui tècnicament i econòmicament viable es pugui avançar cap a un model de desenvolupament eficient, però sobretot sostenible.

Els objectius de la química verda encaixen perfectament amb aquest fi, ja que aquesta disciplina intenta sobretot vehicular les seves accions incorporant coneixements d'un model àmpliament provat i experimentat durant milions d'anys: els sistemes naturals, malgrat que la capacitat de mimetisme respecte a aquests sistemes sigui limitada.

Tanmateix, cal tenir en compte els efectes de les substàncies químiques sobre la salut i el medi ambient, atès el seu creixement exponencial al llarg dels últims anys, ja que, tot i que en molts casos han afavorit el progrés de la societat, no totes són substàncies innòcues. Precisament per aquest motiu, a tot Europa s'ha desenvolupat una nova normativa, entre la qual requereix especialment esment, per la seva rellevància, la següent: Reglament (CE) núm. 1907/2006, relatiu al registre, l'avaluació,

l'autorització i la restricció de substàncies i preparats químics (**REACH**), i les actualitzacions corresponents; Reglament (CE) núm. 1272/2008, sobre classificació, etiquetatge i envasament de substàncies i mesclures químiques (**CLP**), i les adaptacions corresponents; Reglament (CE) núm. 850/2004, relatiu als contaminants orgànics persistents (**COP**), i totes les actualitzacions, i Directiva 2002/95/CE sobre restriccions a la utilització de determinades substàncies perilloses en aparells elèctrics o electrònics (**RoHS**), i les actualitzacions corresponents. Tota aquesta nova normativa té en consideració, d'una manera o altra, els principis de la química verda, especialment pel que fa al criteri de substitució de substàncies químiques per altres substàncies o processos alternatius, que tinguin tan poc impacte negatiu com sigui possible sobre el medi ambient i la salut de les persones.

En aquest sentit, l'objectiu addicional de la normativa esmentada és **la prevenció i el control ambiental de les substàncies contaminants**, a més de la prevenció i el control de les activitats que les produeixen. D'aquesta manera, cada vegada és més important **estudiar tot el cicle de vida de les substàncies contaminants**: importació, exportació, comercialització, ús..., la qual cosa també està perfectament alineada amb els objectius de la química verda. D'altra banda, és previsible que amb la implementació, a tota la Unió Europea, d'aquesta nova normativa, la química verda rebí un impuls important per al seu desenvolupament.

L'objectiu final d'aquest seguiment de les substàncies químiques i la seva incorporació a les polítiques ambientals és desenvolupar, substituir o millorar progressivament els recursos disponibles, i fomentar que les activitats incorporin les **millors tècniques disponibles**, i que estiguin gestionades i controlades mitjançant **sistemes de qualificació ambiental** que permetin, a més, un millor accés a la informació per part dels ciutadans, per tal d'obtenir productes de qualitat més respectuosos amb el medi ambient (d'acord amb l'anàlisi i la gestió del cicle de vida) i també

amb la seguretat i la salut de les persones. Catalunya té un paper de motor dins de l'Estat espanyol en aquestes matèries, i més durant el 2011, Any Internacional de la Química. En aquest sentit:

- Va ser pionera en l'aplicació de la Directiva 2008/1/CE, relativa a la prevenció i al control integrats de la contaminació (IPPC), i en l'aplicació de les millors tècniques disponibles a les activitats afectades per la contaminació. La nova Directiva 2010/75/UE, relativa a emissions industrials (DEI), que substitueix l'anterior Directiva IPPC, també dóna un paper predominant, i vinculant, a l'aplicació de les millors tècniques disponibles a les activitats afectades per la contaminació.
- Va ser pionera en l'aplicació de sistemes de qualificació ambiental. L'any 1994 va crear el distintiu de garantia de qualitat ambiental per a productes; posteriorment, l'any 1998, va ser ampliat també a serveis. En aquest sentit, any rere any, ha anat creixent el nombre d'activitats i productes a Catalunya que apliquen algun d'aquests sistemes voluntaris de qualificació ambiental. Actualment a Catalunya hi ha 297 empreses (74% pimes), amb 415 establiments, que estan registrades en el sistema d'ecoauditoria i gestió ambiental de la Unió Europea (EMAS); 46 atorgaments de l'etiqueta ecològica de la Unió Europea, que representen el 88,5% dels atorgaments a l'Estat espanyol; i 246 empreses que disposen del distintiu de garantia de qualitat ambiental pels seus productes i serveis, en alguna o algunes de les 30 categories desenvolupades.

No obstant això, encara hi ha molts reptes que cal afrontar per assolir l'objectiu principal, que és, com hem dit, avançar cap a un model de desenvolupament eficient i sostenible. Així, els propers anys caldrà implementar les noves normatives europees sobre emissions industrials i sobre substàncies químiques que s'han esmentat, i continuar fomentant l'aplicació de sistemes voluntaris de qualificació ambiental, per continuar sent una de les regions d'Europa amb més activitats que tenen

un comportament respectuós amb el medi ambient i fabriquen productes i béns d'equipament de qualitat, igualment respectuosos amb el medi ambient, a més de desenvolupar i implementar polítiques sectorials, amb una visió transversal (urbanisme, transports, infraestructures...), de manera que permetin millorar la qualitat ambiental del nostre país, sense perdre competitivitat. ●

Bibliografia

ANASTAS, P.T.; WARNER, J. C. *Green chemistry, theory and practice*, Oxford University Press, 1998.

DOMÉNECH, X. *La química verda*, Rubes Editorial, 2005.

Enllaços d'interès

<http://www.greenchemistrynetwork.org/>

<http://www.epa.gov/gcc/>

<http://www.organic-chemistry.org/topics/green-chemistryshtm>

<http://www.iuct.com/index.php/ca/projectes-idi/plataformes-tecnologiques/green-chemistry>