

**SOCIETAT CATALANA
D'ESTUDIS HISTÒRICS
EL FOC COM A FACTOR
DE PRODUCCIÓ,
A CÀRREC DE
JOSEP M. BENAUL BERENGUER,
DE LA UNIVERSITAT
DE BARCELONA**

L'atenció se centrarà en aquells processos de producció on el foc era un element imprescindible. En primer lloc, s'analitzarà el foc com a factor de producció en l'economia orgànica, on el foc s'obtenia fonamentalment a partir de la combustió de llenya i altres matèries orgàniques. En segon lloc, s'estudiarà el foc com a factor de producció en l'economia d'energia de base mineral, on el foc s'aconsegueix bàsicament a partir de la combustió de minerals (carbó, petroli, etc.).

1. INTRODUCCIÓ

1.1. *El descobriment del foc, un dels primers grans avenços en la història de la tecnologia*

L'*Homo erectus*, segons les restes trobades a la Xina, ja coneixia el foc ara fa 600.000 anys. Tanmateix, s'ha de distingir entre usar el foc i fer foc. En el primer cas, el foc podia haver estat causat per un factor extern a l'home (un llamp, una explosió volcànica, una combustió espontània, etc.) i aquest es limitava a conservar-lo i a usar-lo. En el segon cas, el foc hauria estat creat per l'home, és a dir, que podia produir-lo quan volia. L'home va aprendre a fer foc de dues maneres. En primer lloc, colpejant una pedra foguera contra un mineral que contingués metall de ferro (pirita de ferro) i fent que les espurnes provoquessin la flama d'herba seca. En segon lloc, mitjançant la fricció d'un bastó de fusta dura contra una peça de fusta més tova.

Algunes de les aplicacions del foc no es van produir fins molt més tard que l'home hagués après a fer foc. Mentre va ésser un caçador i un recol·lector, amb el foc va trobar escalfor, va aprendre a cuinar alguns aliments i a adobar pells, va obtenir protecció enfront dels animals salvatges i caliu per a la vida social i el va usar per foradar troncs i fer

així les primeres barques. Més endavant, quan l'home va esdevenir agricultor i ramader i es va sedentaritzar, van sorgir noves necessitats i el foc va permetre l'obtenció de productes ceràmics per a ús domèstic i per a la construcció i, finalment, l'entrada a l'era dels metalls. Hi ha una distància temporal més que notable entre el temps del foc de l'*Homo erectus* (600000 aC) i l'edat del coure (5000 aC) o del bronze (3000 aC).

1.2. *Dues etapes en la història del foc com a factor de producció*

La història del foc com a factor de producció es pot dividir en dues etapes segons el combustible usat per produir-lo. Fins al segle XVIII de l'era cristiana, el combustible ha estat aclaparadorament orgànic: la llenya, les plantes o els seus derivats. Al marge de l'energia hidràulica i l'eòlica, el gruix de l'energia procedia de la transformació d'elements orgànics, ja fos en forma de combustible pel foc o d'aliment transformat metabòlicament per les espècies animals, especialment per l'home i pel bestiar de tir. Per això, seguint Wrigley, podem parlar de *economia orgànica*. La segona etapa, molt més curta, va de la revolució industrial fins als nostres dies, però el canvi ha estat radical. Hem passat d'una economia de base orgànica a una altra de base mineral, en la qual els minerals han esdevingut els combustibles bàsics i també han substituït moltes de les primeres matèries orgàniques.

En aquesta anàlisi, tot i que farem referència a les activitats agràries i extractives, ens centrarem en el foc com a factor de producció a la indústria. Això vol dir que no abordarem, fora que sigui imprescindible, l'ús del foc en la vida domèstica o en l'activitat militar. D'altra banda, si bé farem referència a l'elaboració de productes per a l'enllumenat,

aquest aspecte serà marginal en aquesta síntesi. L'enfocament sectorial se centrarà en les indústries més importants i, per tant, es defuig qualsevulla pretensió d'exhaustivitat.

2. EL FOC EN L'ECONOMIA ORGÀNICA

2.1. *Els combustibles*

Tal com hem dit, els combustibles bàsics han estat la llenya, procedent d'arbres o, per defecte, d'altres plantes. La fusta es pot transformar en carbó vegetal, el combustible sòlid gairebé perfecte, atès que crema a alta temperatura i produeix poc fum i cendra. Això l'ha fet decisiu per a usos domèstics i industrials. El carbó vegetal s'obté de la crema de la fusta mitjançant unes condicions que limiten l'aire, cosa que n'evita la combustió total. Les carboneres per produir carbó vegetal, especialment a partir de roure o alzina, han estat una activitat tradicional de l'explotació del bosc. I aquí convé notar que l'oferta de combustible ve determinada per la disponibilitat de boscos.

2.2. *El foc en les activitats agràries i extractives*

Atesa la importància d'aquestes activitats en les economies preindustrials, recordarem molt breument alguns usos del foc. En l'agricultura, el foc s'emprava en les rompudes, sobretot quan eren el producte del desboscament. S'utilitzava tant en les rompudes definitives com en les itinerants, les artigues. Hom recorria també al foc com a procediment de fertilització de la terra, ja fos el foc somort que es feia en els formiguers o el dels rostolls.

El foc s'usava també en la pesca. La pesca a l'encesa

es feia amb teies. El foc —en aquest cas, el fum— s'utilitzava també en activitats com l'apicultura. Els pobles que encara es dediquen a l'apicultura predatòria utilitzen el fum per apaivagar les abelles, de la mateixa manera que l'apicultor actual fa servir el fumigador.

En l'extracció de minerals també s'emprava el foc, seguit d'un ruixat d'aigua freda, per trencar les roques. D'aquesta manera, s'obtenia una contracció que produïa grans forces internes que fracturaven la roca.

2.3. *El foc en les activitats manufactureres*

2.3.1. Ceràmica, materials de construcció, ceràmica i vidre

La ceràmica usa materials abundants i és molt fàcil de fer. La invenció del torn, pels volts del 3000 aC, va comportar un fort augment de la producció i, en conseqüència, una forta expansió dels forns. La temperatura de cocció era decisiva per aconseguir que la ceràmica esdevingués més resistent i menys porosa i fins i tot que es pogués vitrificar. Per això calia obtenir temperatures superiors als 750-800 °C. La cocció és un procés llarg i molt intensiu en combustible. A partir del quart mil·lenni aC es va començar a utilitzar el forn, que va substituir els focs oberts i els focs coberts amb terra anàlegs al model de la carbonera. Amb els forns s'aconseguien temperatures més altes i s'economitzava combustible. Més endavant, hom va aïllar el fogar de la resta del forn per tal d'obtenir l'escalfament indirecte i evitar que es malmetessin les peces a causa dels fums i les sutges.

Pel que fa a la construcció, el forn es va usar originàriament per a la fabricació de maons, quan es requeria que fossin impermeables, i de rajoles per a paviments. El maó

cuit s'emprava en els temps clàssics a Egipte; els ziggurats es revestien de maó cuit, i a Mesopotàmia i a Babilònia trobem maons vidrats. Finalment, convé recordar que bona part de Roma va ser construïda amb un quasi ciment revestit de maó. Després de la caiguda de l'Imperi romà, la fabricació de maons es va mantenir a Bizanci, al nord d'Itàlia i a l'Espanya musulmana. En aquest darrer cas, també s'ha de fer esment de l'ús de la rajola vidrada. Entre els segles XI i XII, el maó es va difondre des del sud de França fins a l'est d'Anglaterra i va esdevenir la base principal de l'arquitectura a la franja del mar del Nord i Bàltic, des de Bèlgica fins a Rússia. Tanmateix, fins a la baixa edat mitjana no es va produir un ressorgiment remarcable de la fabricació de maó a Europa.

Altres materials també requerien l'ús del foc. Així, la calç viva i el guix es produïen mitjançant la calcinació. La pedra calcària i la pedra de guix eren calcinades en forns, de manera que expulsaven el diòxid de carboni. La combinació de la calç amb determinades sorres i amb aigua permetia obtenir el morter. Si la sorra tenia característiques especials com les de Pozzuoli, usada a Roma, llavors podia esdevenir un quasi ciment.

Si els materials de construcció fins ara descrits s'obtenien mitjançant la cocció o la calcinació, el vidre s'obtenia mitjançant la fusió. El vidre era elaborat mitjançant l'escalfor d'una mescla sense impureses de sosa, calç i sorra (silici) fins que es fonia en un fluid vitri, que s'havia de refredar lentament per evitar trencaments o cristallitzacions. El procés de producció es va mantenir gairebé sense canvis des de l'època romana fins a la revolució industrial. La producció de vidre requeria una temperatura de 1.000° C, que era la que es podia obtenir amb el foc de carbó vegetal. D'altra banda, la tècnica de bufar el vidre va provenir de Sírria i es va difondre pel món romà a partir del segle I dC.

2.3.2. Productes alimentaris i begudes

El foc va permetre la cocció dels aliments i transformar-los en determinats casos. Podríem citar, en primer lloc, el pa. El primer tipus de pa, sense fermentació, era una massa cuita en forma de galeta. Cap al 2600 aC, els egipcis ja feien pa amb mètodes semblants als actuals. Fins a èpoques recents, com sabem, el pa era produït a l'àmbit domèstic i la producció no estava separada del consum.

Les tècniques més antigues de la preservació del peix i de la carn han consistit a assecar, salar i fumar aquests aliments. De les tres tècniques, la del fumat és la que utilitza el foc i, en el cas d'Europa, ha tingut una importància creixent des de l'edat mitjana. Tot i que, en determinats casos, l'elaboració dels fumatges podia ser una activitat domèstica, l'expansió de l'activitat pesquera li va donar un caire cada cop més industrial.

Altres activitats, entre les quals destacava la fermentació de la cervesa, també van adquirir un caràcter industrial. A Europa es va començar a posar llúpol a la cervesa, per motius de conservació, a partir dels segles XIII-XIV dC. En el procés de producció el foc intervenia en la cocció del most. A partir del segle XVIII, també s'usava en la torrefacció del malt, per obtenir, juntament amb l'addició de caramel, la cervesa negra.

Els àrabs van introduir a Europa la destil·lació d'alcohols per tal d'elaborar productes medicinals. La tècnica, que va permetre aconseguir també begudes amb alt contingut d'alcohol, consisteix a vaporitzar la mescla líquida (fent-la bullir) fins a separar-ne els constituents segons la diferent pressió de vapor, condensar els vapors i recollir el condensat separatament del residu. La destil·lació simple s'efectua en alambins quan interessa, com és el cas dels aiguardents, només una separació parcial de la mescla.

Una altra activitat industrial era la fabricació del sucre de canya. El mètode tradicional va ser introduït pels àrabs. Els sucres obtinguts de la molturació de la canya passaven per successives calderes, on eren sotmesos a cocció, per clarificar-los i concentrar-los. Aquesta solució concentrada cristal·litza va en refredar-se. El xarop o melassa que quedava com a residu podia ser destil·lat per obtenir-ne el rom. La producció de sucre va adquirir una escala encara més industrial quan es van desenvolupar les plantacions al continent americà. El sucre americà acostumava a ser sotmès a un darrer procés de refinació a Europa, consistent a bullir el sucre amb aigua amb calç fins que quedava completament clar. Després es filtrava, es concentrava per evaporació i es deixava cristal·litzar.

2.3.3. La fabricació de metalls

164

La separació del metall dels altres elements amb els quals està combinat químicament i la seva elaboració posterior requereixen la intervenció del foc. Per tal de separar el metall, és necessari fondre'l amb un material que formi una escòria amb els altres elements (oxigen, sofre, etc.). Abans del segle XVIII, el carboni del carbó vegetal era el més satisfactori d'aquests materials. Atès que la reacció química només es produeix amb altes temperatures, el forn és decisiu en els processos d'extracció dels metalls. Per tant, el carbó vegetal no solament proporciona l'alta temperatura de la fusió sinó que forma, en menor o major mesura, les escòries amb els altres elements.

Pel que fa a l'elaboració del metall, hi havia dues possibilitats. La primera era donar forma al metall pur, que no necessitava ser fos, mitjançant un martell i una enclusa. El martelleig enduria el metall, però es va descobrir que es podia estovar novament mitjançant escalfament. La segona

possibilitat era refondre novament el metall per purificar-lo, vessar el metall líquid en un motlle i, una vegada refredat, retocar-lo amb el martell.

El bronze procedeix d'un aliatge del coure amb l'estany (3000 aC). El llautó era un altre aliatge, obtingut en aquest cas mitjançant el coure i el zinc. El problema del ferro era que requeria una temperatura de fusió més elevada (1.535 °C) que el coure (1.063 °C). Fins a la introducció dels alts forns no hi va haver manera d'aconseguir ferro colat. Per tant, des del 2000 aC fins al 1500 dC només es va obtenir fonamentalment ferro forjat mitjançant un forn baix, en el qual només s'aconseguia una pasta de ferro, que després era treballada a cops de martell. La farga catalana va ser un d'aquests forns més reeixits.

Els alts forns es van establir a partir dels segles XIII-XV a Lieja i a partir del 1500 es van difondre per Europa. Els avantatges eren clars: podien treballar amb minerals menys rics, produïen a més gran escala i consumien proporcionalment menys combustible. Ara bé, la construcció del forn era cara i el ferro colat tenia un contingut molt més alt de carboni, de manera que era més fort en compressió i més feble en tensió, més trencadís, que el ferro forjat. Els alts forns necessitaven, atesa l'escala —determinada per la grandària i per l'operació constant—, més combustible i força mecànica —energia hidràulica— per moure les manxes. El ferro colat es podia convertir en ferro forjat mitjançant una nova fusió en un altre forn, que extreia el carboni del ferro. Atès que aquest sistema d'obtenir el ferro forjat comportava dues operacions, ha estat denominat *procediment indirecte*.

2.3.4. Les beceroles de la indústria química

La indústria química moderna s'origina en el segle XVIII, quan es va dotar d'una base científica moderna, però hi

havia una sèrie d'activitats transformadores que en poden ser considerades els precedents. En totes el foc era un factor de producció decisiu.

La producció de sabó es pot considerar indústria química, tant pels elements que hi intervenen com pel procés que comporta. El producte s'obtenia mitjançant l'ebullició de greix animal o vegetal (oli d'oliva) amb un fort àlcali. El sabó dur s'obtenia amb la sosa, la qual s'obtenia de la calcinació de la barrella. El sabó tou s'obtenia amb la potassa càustica, obtinguda a partir de cendres de fusta i calç.

Un altre dels precedents de la indústria química és la tintura, en la qual també intervenia el foc. En primer lloc, s'havia d'obtenir l'alum (sulfat d'alumini i potassi), que era utilitzat com a mordent. Els minerals s'havien de purificar per processos de cristallització fins a obtenir l'alum. En segon lloc, els tints eren tots productes naturals, majoritàriament vegetals, tot i que també n'hi havia d'animals com la cotxinilla i la porpra. En el cas de l'indi, un dels més usats, la planta s'havia de deixar fermentar perquè fos soluble en l'aigua. El teixit o la fibra es bullia primer en una solució amb el mordent i després es bullia amb el tint.

També s'obtenien productes a partir de la fusta. Les pegueres, per exemple, eren els forns on es cremava llenya de pi per fer pega, usada pels boters, en la construcció de naus i en el marcatge del bestiar. El procés de combustió era lent, ja que es tapaven amb terra per evitar l'entrada d'aire. La pega emanava lentament i en refredar-se se solidificava.

2.4. Els límits energètics de l'economia orgànica

La demanda de calor va augmentar de manera molt considerable a l'Europa del segle XVI al XVIII, alhora que es feien evidents les limitacions de l'oferta de combustible. Les fonts de

l'augment de la demanda industrial i domèstica de calor eren l'increment de la població i, en uns llocs més que en d'altres, els ingressos per habitant. En canvi, l'oferta de combustible estava bàsicament limitada a la llenya, és a dir, als recursos forestals.

Els recursos forestals no solament no augmentaven en resposta a la demanda, sinó que fins i tot disminuïen allí on eren més evidents el creixement demogràfic i l'econòmic. L'expansió de l'agricultura i de la ramaderia es feia a còpia de desforestar, i la creixent demanda domèstica i industrial de combustible accelerava encara més aquesta desforestació.

L'escassetat de combustible orgànic començava a ésser palesa en molts llocs i això es traduïa en l'encariment del combustible, que calia anar a cercar a llocs cada vegada més distants que els de consum. Però això no feia altra cosa que anunciar que el creixement tenia un sostre pel que fa a la disponibilitat de combustible a les economies de base orgànica. De fet, en algunes zones, sense anar més lluny al País Basc en el segle XVIII, es va tocar aquest sostre. El creixement només podia continuar si es canviaven els fonaments energètics de l'economia.

3. EL FOC EN L'ECONOMIA DE BASE MINERAL

3.1. *L'economia de base mineral*

Amb la revolució industrial es va produir el trànsit d'una economia basada en el combustible orgànic a una economia basada en el combustible mineral. Els diferents tipus de combustible mineral (la torba, l'hulla, els lignits, el petroli...) eren coneguts i usats des de feia temps, però de manera molt limitada. No tots aquests combustibles tenien el mateix

potencial calòric, com ho palesen les diferències entre l'hulla i la torba. Tampoc no tenien el mateix potencial de reserves, que podien considerar-se gairebé il·limitades a l'hulla i molt més limitades a la torba.

La pressió del sostre de l'energia de base orgànica, que abans hem assenyalat, va portar a l'explotació dels combustibles de base mineral, especialment a partir del segle XVII. Tanmateix, l'explotació d'aquests recursos plantejava diversos problemes. Primer, no tots els països estaven dotats amb aquests tipus de jaciments. Segon, l'extracció podia ser relativament simple si el jaciment aflorava a la superfície i molt costosa si l'explotació es feia per mitjà de galeries profundes, que, a més, comportaven tota una sèrie de problemes tècnics de difícil resolució. Finalment, el consum d'energia tèrmica —a partir de la combustió del carbó mineral— podia experimentar una forta expansió si s'aconseguia transformar-la en energia mecànica. Fins llavors això no havia estat possible i l'energia mecànica depenia de la força hidràulica, del vent i de l'energia animada.

El convertidor de l'energia tèrmica en mecànica va ser la màquina de vapor, que ens va alliberar de l'energia animada i dels límits de les energies eòlica i hidràulica. Amb la màquina de vapor vam entrar de ple en l'era dels motors de foc i també en l'era de l'escalfor i de l'enllumenat a partir de combustibles minerals o fòssils. I a partir de l'explotació d'aquests combustibles abundants i més barats, es va obrir una nova era en què gran part de les primeres matèries orgàniques (la fusta, les matèries tintòries, els lubricants d'origen vegetal o animal, etc.) van ser substituïdes per primeres matèries minerals. D'aquesta manera, el sòl es va veure alliberat de la restricció que suposava la necessitat de disposar de llenya per a la combustió.

3.2. *Les fonts del foc i els motors de foc*

Com ja hem dit, l'explotació dels combustibles minerals va permetre disposar de noves i abundantíssimes fonts de foc. La primera i més explotada va ser el carbó mineral. L'era del carbó va presidir tot el període que va des de les darreres dècades del segle XVIII fins a les primeres dècades del segle XX. A partir de llavors, han anat prenent més relleu altres combustibles fòssils com el petroli i el gas natural.

La màquina de vapor va ser el primer dels motors de foc. Aquesta invenció va estar lligada a l'explotació de la mineria del carbó, que requeria sistemes per bombar l'aigua de les mines. I aquest va ser l'ús de la primera màquina de vapor reeixida, la de Newcomen, en els segles XVII i XVIII. El foc intervenia en l'escalfament de l'aigua de la caldera per produir vapor. La màquina de vapor no va sortir d'aquest ús limitat a la mineria del carbó, fins que Watt fer dues grans innovacions. La primera, el condensador separat, que comportava un gran estalvi d'energia; la segona, el moviment rotatori, que la va convertir en un veritable motor.

Les màquines de Newcomen eren convertidors molt ineficients, ja que convertien en treball menys de l'1% dels recursos tèrmics consumits. Eren més ineficients que els convertidors orgànics, però ni l'home ni els animals no podien alimentar-se amb carbó i no hi havia cap manera d'organitzar amb tanta eficàcia la força equivalent d'una d'aquestes màquines. El 1870 la força de vapor a Anglaterra era de 4 milions de CV, equivalents a la força de 6 milions de cavalls o de 40 milions d'homes.

L'eficiència de les màquines va millorar progressivament: dels 13,6 kg de carbó per CV/h que consumia la màquina de Newcomen es va passar als 3,4 de les màquines de Watt i als 1,13 de les màquines de mitjan segle XIX. Paral·lelament, també es van desenvolupar calderes que

aconseguien la producció de vapor amb un menor consum de combustible.

La màquina de vapor va ser seguida per altres motors de foc molt més eficients. Ens referim als motors d'explosió o de combustió interna, basats en el principi d'explosió controlada. L'explosió ràpida d'un gas en un espai delimitat, per exemple un cilindre, permetia el desplaçament d'un pistó en la direcció desitjada.

Els primers motors d'explosió van ser els de gas. Eren motors més eficients i nets que les màquines de vapor, comportaven un notable estalvi en mà d'obra i podien ser molt petits i adients per a petits tallers. El combustible també podia ser més barat. Si era produït *in situ*, el gas es podia fabricar a partir de carbons de poca qualitat i altres materials. El gas també podia provenir de la xarxa de gas d'hulla o bé del gas com a subproducte d'un alt forn siderúrgic. El foc era necessari per fer el gas en els gasògens de gas pobre o en les grans plantes de producció de gas d'hulla amb retortes. Finalment, cal considerar també l'encesa i la combustió del gas en el motor. La principal limitació d'aquests motors era precisament la falta de mobilitat, ja que depenien de la font de subministrament, ja fos el gasogen o bé la xarxa.

La solució es va trobar en l'ús de combustibles líquids, especialment el petroli i els seus derivats. Cremaven de manera gairebé tan eficient com el gas, feien el doble de treball per unitat de pes que el carbó i ocupaven molt menys espai. Amb aquests combustibles els motors d'explosió podien ser aplicats a la navegació i també al transport terrestre. A la navegació comportaven un gran estalvi, en relació amb les màquines de vapor, no solament en termes d'eficiència de combustible sinó també de personal, ja que es podia prescindir completament dels fogoners.

Els motors de foc no van acabar aquí. Podríem esmentar, entre altres, les turbines de vapor, usades en les centrals

tèrmiques, o els motors de reacció en l'aviació. De tota manera, hem considerat els més essencials per a l'època que va de la revolució industrial a mitjan segle XX.

3.3. *La disponibilitat de calor i l'obtenció de metalls*

3.3.1. La siderúrgia

Un dels grans problemes tècnics en l'ús del carbó mineral es trobava a la siderúrgia, ja que fins al segle XVIII no es va descobrir el sistema per fer servir el carbó mineral en els alts forns de ferro. A diferència del carbó vegetal, que no contenia impureses, el carbó mineral en tenia moltes. Això ja s'havia detectat en la coccio del most en la producció de cervesa, on les impureses del carbó mineral es transmetien a la coccio i espatllaven el sabor d'aquesta beguda. Van ser els cervesers britànics els primers que van pensar a destil·lar el carbó mineral per eliminar les impureses, és a dir, en la coquitació. En començar el segle XVIII, Abraham Darby va aconseguir una fosa de ferro de qualitat mitjançant l'ús del coc a Coalbrookdale. El 1790 quatre cinquenes parts de tots els alts forns britànics ja funcionaven amb coc.

D'altra banda, aquest cas mostra els lligams entre les innovacions de la revolució industrial. Com que el coc cremava amb més dificultat que el carbó vegetal dins de l'alt forn, era necessari injectar-hi més aire. Això feia que els alts forns haguessin de situar-se prop de cursos d'aigua per disposar de rodes que impulsessin les manxes. Les màquines de vapor que impulsaven cilindres bufadors d'aire van posar punt final a aquesta dependència. La nova doble dependència del carbó (combustible del forn i de les màquines de vapor) va canviar també la localització dels alts forns, que es van situar prop dels jaciments d'aquest mineral.

Els altres dos grans canvis de la indústria siderúrgica van ser, primer, els nous sistemes de producció de ferro forjat i, més tard, la producció massiva d'acer. Gràcies a la innovació abans descrita, es disposava d'un gran volum de ferro colat. El ferro colat tenia uns usos limitats i calia convertir-lo en ferro forjat per tal que pogués satisfer les necessitats majoritàries del consum industrial. Per fer-ho, calia reduir el carboni del ferro colat. El repte novament era usar el carbó mineral per aconseguir-ho. El britànic Henry Cort va trobar la solució amb el procediment de la pudelació a la fi del segle XVIII. La pudelació consistia a passar el ferro colat a un forn de reverber (on el combustible no estava en contacte directe amb el mineral) i a remoure, apartar, batre i separar successivament la fosa, de manera que l'aire accedia amb gran quantitat i rapidesa al ferro fos, s'assolia la descarbonització i s'obtenia un ferro mal·leable. A més, Cort va combinar la pudelació amb l'ús dels corrons en lloc dels martells de la forja. La massa pastosa que sortia del forn de reverber passava a un tren de laminació, on una sèrie de corrons compríen la massa i n'extreien més impureses per pressió. A més, els darrers corrons podien tenir formes determinades, de manera que el ferro sortia ja com a producte acabat (rails, perfils quadrats o circulars, etc.).

Més va tardar, fins a la segona meitat del segle XIX, la producció de l'acer en massa, l'acer barat. Fins llavors l'acer, un producte que té més carboni que el ferro forjat i menys que el ferro colat i que és superior en prestacions a aquests dos ferros, només es podia produir a petita escala amb procediments laboriosos i cars i també incerts, ja que depenien de l'experiència dels operaris.

La primera innovació va ser el convertidor Bessemer, el procediment del qual consistia a insuflar aire damunt i a través del metall fos, utilitzant la calor que despenia el mateix procés d'oxidació. Això permetia una descarbonitza-

ció molt ràpida (de tres a cinc tones d'acer en un quart d'hora). El procediment alternatiu era el sistema Martin-Siemens. Es tractava d'un forn de recuperació de calor, que permetia aconseguir temperatures més elevades i usar carbó de qualitat inferior. La tècnica pretenia l'oxidació del ferro colat, i la barreja del ferro colat amb ferralla facilitava el procés de descarbonització. El procés era més lent que el Bessemer, però més controlable, i permetia obtenir acers de més qualitat. Ambdós procediments només podien usar ferro fos de mineral no fosfòric, que era el menys abundant i més car.

La solució va venir, el 1875, dels cosins Sidney G. Thomas i Percy Gilchrist, que van descobrir que, si s'afegia pedra calcària al convertidor, aquesta es combinava amb el fòsfor per formar escòria bàsica. A més, aquesta escòria, polvoritzada, esdevenia la base dels adobs fosfatats. A partir d'aquesta invenció, es va entrar en l'era de l'acer bàsic i, a partir de llavors, l'acer va substituir el ferro dolç o forjat.

173

3.3.2. Els metalls no ferrosos

Després d'una certa hegemonia del plom, el coure va esdevenir el metall no ferros més important. La intervenció del foc en la transformació del mineral de coure —molt carregat d'altres elements, predominantment sofre— en metall era decisiva. Amb la tecnologia de la primera meitat del segle XIX, el mineral era sotmès a sis operacions (de les quals dues eren calcinacions i tres, foses) fins a obtenir el coure *blister*, que necessitava encara una darrera fosa de refinació. Més endavant, es va introduir el forn de torrefacció amb diverses soleres, que eliminava molt més ràpidament el sofre. Finalment, la mata de coure era convertida en *blister* mitjançant un convertidor molt semblant al Bessemer. D'altra banda, s'ha de tenir en compte que, en els minerals sulfurats,

els més rics en sofre, molt abundants a Espanya, aquest era el producte principal destinat a la indústria química. En aquest cas, el procés de dessulfuració realitzat a les plantes químiques deixava uns residus —escòria (*cinders*)—, dels quals també s'extreia metall de coure.

Altres metalls com el plom, el zinc, l'estany i el mercuri s'obtenien també per procediments de fosa, amb adaptacions d'alts forns i de forns de reverber.

Alguns dels processos, com el de producció de zinc amb retorta horitzontal, descobert a Lieja a començaments del segle XIX, es van mantenir vigents fins a mitjan segle XIX. En canvi, amb el desenvolupament de l'electricitat, el nou procediment de l'electròlisi va esdevenir decisiu en la refinació del coure i del níquel i en la fabricació de l'alumini a partir de les darreres dècades del segle XIX.

3.4. *Una indústria nova: la química*

3.4.1. Les grans innovacions

El foc, basat principalment en la combustió del carbó, també va intervenir en els processos productius que van revolucionar la indústria química. Aquesta indústria va substituir les primeres matèries orgàniques per les minerals, va descobrir nous productes i va crear una cadena d'aprofitament de diversos subproductes. Tot plegat fa que es pugui considerar una indústria nova. No cal dir que l'augment de la producció química va ser esperonada per la demanda d'altres indústries, com era el cas dels tints i els blanquejadors consumits per les indústries tèxtils.

En primer lloc, cal destacar la química inorgànica, que va conèixer la primera revolució en la química de la sosa. Gràcies a Leblanc, es va poder obtenir aquest producte a

partir de la sal, un mineral molt abundant, en lloc dels vegetals que contenien sosa (barrella, determinades algues). L'ús de procediments calòrics comportava un elevat consum de carbó. La sal comuna es tractava amb àcid sulfúric i el sulfat sòdic resultant es cremava barrejat amb carbó i carbonat de calci (pedra calcària). La sosa s'extreia per lleixivació de la cendra de sosa o cendra negra resultant i la solució s'evaporava en recipients oberts. El producte sintètic, fabricat en massa amb els procediments abans descrits, era més homogeni que el natural.

La producció de sosa va incrementar la demanda d'àcid sulfúric, de manera que si ja en el segle XVIII s'havia abaratit la destil·lació del sulfat ferrós, ja que va passar a fer-se en cambres de plom en lloc de petites campanes de vidre, en el segle XIX es van desenvolupar nous procediments d'obtenció de l'àcid sulfúric a partir de nous minerals (pirites, salnitre), de nous forns i de cambres de plom molt més grans.

Un nou procediment per a la producció de sosa va ser inventat pels germans Solvay el 1861. En aquest cas, es tractava d'obtenir bicarbonat sòdic mitjançant el pas d'anhídrid carbònic per salmorra saturada amb amoníac. El bicarbonat sòdic es converteix fàcilment en sosa amb l'escalfor i allibera anhídrid carbònic, que es pot reutilitzar en la primera etapa. Els Solvay van introduir la torre de carbonatació, que va fer continu el procés. A més, es van fer altres millores, com els forns per produir l'anhídrid carbònic a partir de la pedra calcària i els forns per calcinar el bicarbonat sòdic. El preu de la sosa es va reduir a la meitat, i en les darreres dècades del segle XIX la sosa Solvay va substituir la Leblanc. De la química lligada a la sosa, en van sortir algunes de les empreses químiques més grans del món.

Dins de les indústries de la química inorgànica pesada s'ha de fer esment de la manufactura d'explosius, amb innovacions com la nitroglicerina i la dinamita, que van resultar

decisives en la mineria. Una altra indústria important va ser la de fertilitzants, especialment dels nitrogenats, fosfòrics i potàssics.

L'altra gran revolució de la química va ser el desenvolupament de la química orgànica, que engloba tota la química del carboni i els seus derivats. En primer lloc, cal destacar la química dels colorants sintètics a partir del carboni. Del quitrà de l'hulla es poden obtenir moltes substàncies: el nitrobenzè i, per reducció d'aquest, l'anilina, anomenada així perquè abans s'aconseguia a partir de l'anyil. Des de llavors, es van obtenir per oxidació altres colorants sintètics, que van fer abandonar el recurs a les plantes tintòries com la roja, l'indi, etc.

L'altre gran subsector de la química orgànica és la petroquímica, que utilitza productes derivats del petroli. I això ens porta a aquest hidrocarbur, que va tenir una explotació molt més tardana que el carbó, tant perquè la demanda dels seus derivats era molt limitada com perquè existien problemes d'oferta que anaven des de les fonts de subministrament del cru fins als costos de refinació.

De 1850 a 1880, la refinació del petroli es feia amb alambins cilíndrics i horitzontals, escalfats amb vapor d'aigua (o, posteriorment, per vapor reescalfat); el vapor d'aigua evitava el perill d'un flama viva. Refinacions ulteriors s'obtenien mitjançant l'ús de productes químics com l'àcid sulfúric o la sosa. En la refinació se separaven tres fraccions a partir dels diferents punts d'ebullició. La gasolina, que era la primera en ésser destil·lada, era considerada perillosa i inútil; la fracció mitjana proporcionava el querosè, el producte més útil en el segle XIX, ja que era usat en l'enllumenat; la fracció final o més pesada va esdevenir valuosa com a lubricant i va substituir els obtinguts a partir d'olis animals o vegetals.

La refinació va passar de ser un procés discontinu, ja que inicialment s'havia de retirar la tercera fracció i deixar re-

fredar l'alambí, a ser un procés continu, la qual cosa suposava un major estalvi de combustible. Amb la invenció dels automòbils, va augmentar i va canviar radicalment la demanda de productes del petroli, i de resultes d'això la gasolina es va col·locar en primer pla. Aquest fet va afavorir la difusió del mètode del *cracking*, consistent a escalfar el petroli a pressió per obtenir una major proporció dels olis més fluids, a causa de la ruptura de les llargues cadenes d'àtoms de carboni que formen les molècules de les fraccions més pesants i menys volàtils. La Standard Oil Company va ser la primera a utilitzar, des de 1913, el *cracking* tèrmic per a la producció de gasolina.

El *cracking* va permetre també la producció d'olefines per a la indústria petroquímica. Tot i que només eren una part molt petita de la refinació del petroli, cap a 1900 ja representava un terç de la indústria de la química orgànica. El ventall de productes petroquímics, molt limitat abans de 1913, es va ampliar moltíssim a partir de la comprensió dels processos de polimerització, que van permetre a partir dels anys d'entreguerres i, sobretot, després de 1945, la producció de nous productes sintètics, els quals van superar les fibres artificials (derivades de la cel·lulosa), els plàstics semisintètics (cel·luloide, baquelita) i el cautxú natural. Així va desenvolupar-se la producció de fibres (poliamides, polièsters), plàstics (PVA, PVC, polietilè...) i cautxú sintètics.

177

3.4.2. El foc a la indústria química

Al llarg del segle XIX, les unitats d'equipament essencials a totes les branques de la indústria química van ser el forn i —entesa en un sentit ampli (tines, alambins, autoclaus, etc.)— la caldera.

El forn era bàsic en la fabricació dels productes que intervenien, per exemple, a la indústria de la sosa: forn per a

la refinació del sofre, forn per a la combustió del sofre barrejat amb nitrat per alimentar en continu les cambres de plom per a l'àcid sulfúric, forns per a la calcinació de les pirites...

D'altra banda, gràcies a la disponibilitat de productes siderúrgics més resistent i al desenvolupament de materials refractaris, van poder-se aplicar forns mecànics, generalment rotatius, especialment en operacions on convenia que la massa fos remoguda.

En nombroses fabricacions, la utilització del vapor d'aigua, o l'aire calent, era el mitjà més apropiat per a les destil·lacions, les concentracions i les dessecacions. El cas del petroli, abans analitzat, és prou significatiu en aquest sentit. Però també podem assenyalar el cas de l'alcohol, on els nous usos industrials (productes farmacèutics, perfumeria, vernissos, cautxú...) van créixer de manera notable, sense oblidar els alimentaris, i això va portar al perfeccionament dels aparells de destil·lació i de rectificació. L'alambí d'Aeneas Coffey, desenvolupat i patentat entre 1830 i 1831 utilitzat la resta del segle, permetia obtenir un alcohol pràcticament pur. Amb aquest alambí es podia dur a terme la destil·lació i la rectificació contínues.

Al mateix temps que se substituïa el carbó vegetal pel mineral i que els minerals esdevenien les primeres matèries bàsiques de la química, es trobaven nous usos químics a la fusta. El primer que podem destacar és la fabricació de pasta de paper. El procediment químic permetia d'obtenir la cel·lulosa en estat pur. En el darrer terç del segle XIX es va desenvolupar aquesta fabricació química amb el procés alcalí, que usava lleixius alcalins càustics, i el procés àcid, que usava hidrogensulfits de calci o de magnesi. En ambdós casos, es requerien els *inputs* químics esmentats i temperatures elevades per escalfar els autoclaus on la fusta desfibrada era sotmesa a la lleixivació. A partir de la cel·lulosa, com ja hem esmentat abans, també es van produir plàstics (cel·luloide) i fibres artificials (viscosa, raíó). En segon lloc, a partir

de la destil·lació seca de la fusta —amb escalfament mitjançant vapor d'aigua— es va obtenir àcid acètic, metanol, acetona, quitrans...

3.5. *Els materials de construcció, la ceràmica i el vidre*

Al marge de les noves possibilitats obertes per la producció massiva de ferro, que va possibilitar l'anomenada *arquitectura de ferro* i l'ús més general d'aquest material en la construcció (pilars, jàsseres, formigó armat, etc.), la revolució industrial va incidir de manera decisiva en la producció de materials de construcció. Un primer efecte va ser l'extensió de l'ús del maó a la construcció i dels envasos i l'utilatge ceràmics als àmbits industrial i domèstic. A les llars de les economies de l'Europa nord-occidental, per exemple, la ceràmica va substituir la fusta i el peltre (plom i estany). El carbó i les noves facilitats per al seu transport va ser decisius, juntament amb el fet que els jaciments d'argila estaven molt difosos.

En això va ser decisiva la combinació de la mecanització (molins, trituradores i mescladores per tractar les primeres matèries; premses mecàniques per donar-li forma) i de formes més eficients de cocció basades en els forns de reverber. En la fabricació de maons convé destacar, per exemple, el forn de Hoffman.

Entre els nous materials de construcció, convé destacar el ciment, obtingut de la mixtura de determinades argiles i calç mitjançant calcinació. Per això, en el cas del ciment Pòrtland, es van desenvolupar forns mecànics rotatoris a la fi del segle XIX, que van eliminar el treball manual fins llavors imprescindible en la calcinació.

La indústria del vidre es va beneficiar dels perfeccionaments de la indústria siderúrgica (forn de regeneració Siemens), de la indústria química (ja que l'oferta de sosa bara-

ta —sobretot la Solvay— era clau en l'expansió de la indústria i dels procediments mecànics (maquinària moguda per màquina de vapor, aire comprimit, etc.). L'aplicació dels forns Siemens va ser determinant, ja que proporcionava una temperatura més elevada, eliminava les bombolles d'aire i permetia una fosa contínua.

Així doncs, els forns de reverber van ser adoptats a totes les operacions on un producte havia d'estar molt escalfat però sense estar sotmès a calcinació, com era el cas de la indústria de la ceràmica i els maons i la del vidre.

3.6. *Foc i escalfor a la indústria alimentària*

El foc i la calor han estat decisius en el desenvolupament de la indústria alimentària moderna. D'una banda, hem d'assenyalar els processos de destil·lació, que ja han estat analitzats en tractar la indústria química. A més de la indústria de l'alcohol, la indústria sucraera va utilitzar intensament l'escalfament per mitjà del vapor d'aigua. L'extracció i la refinació del sucre, tant de canya com de blada-rave, es va mecanitzar. En aquesta indústria el vapor impulsava el motor que movia la maquinària i escalfava calderes, on es transformava el producte.

Segonament hem d'esmentar aquells productes que requereixen processos de cocció i de fosa (mescla i amassament d'ingredients en calent). Entre els primers, podríem esmentar la fabricació de galetes (forns de solera, després forns de cadenes, finalment forns elèctrics de cintes). Entre els segons, la xocolata.

Per acabar, cal considerar els usos del foc i la calor en els avenços en la preservació dels aliments, que han estat bàsics en el desenvolupament de la indústria alimentària moderna. En primer lloc, podem destacar la producció de gel

industrial, obtingut precisament per mitjà de la calor. En segon lloc, la fabricació per procediments calòrics de diversos tipus de llet: condensada, deshidratada, esterilitzada, pasteuritzada, etc. En tercer lloc, gràcies a la producció massiva de sucre, la fabricació de melmelades, on també intervenen la cocció i l'ebullició (bany maria). Finalment, els aliments enllaunats, escalfats per destruir els enzims i els bacteris perjudicials i amb recipients tancats hermèticament. La producció de conserves hermètiques va tenir una gran expansió a partir de la fi del segle XIX.

4. LES DUES CARES DEL FOC

No hi ha dubte que el foc com a factor de producció ha estat bàsic en la generació de riquesa i de millora dels nivells de vida. Especialment en els dos darrers segles en què, entrats de ple en l'economia de base mineral, hem explotat els abundants combustibles fòssils i hem aconseguit incrementar de manera exponencial la nostra capacitat de produir foc i escalfor com a factors productius. Ara bé, com planteja Buchanan, la tecnologia que ha permès assolir els actuals nivells de benestar a les societats més desenvolupades i que ha de permetre assolir-los en altres països en vies de desenvolupament també planteja serioses incerteses sobre el conjunt del planeta.

Avui hi ha pocs dubtes que, al llarg dels darrers dos-cents anys, la nostra activitat en la producció de foc ha contribuït a crear contaminació i a generar efectes més durables com l'efecte hivernacle i les seves repercussions en els canvis de la climatologia del planeta. Mentre que la població mundial es va triplicar entre el 1850 i el 1970, el consum d'energia es va multiplicar per dotze. Tot i que, des de les crisis energètiques de la dècada de 1970, ha disminuït la intensitat energètica, és a dir,

la quantitat d'energia per unitat de producció expressada en termes monetaris (1 euro o 1 dòlar), el consum d'energia no para d'augmentar. I el 95 % d'aquesta energia prové de fonts no renovables, és a dir, dels combustibles fòssils. Tot i alguns entusiastes de nous paradigmes, a curt termini no és previsible el canvi d'aquesta base energètica. La gran qüestió és, doncs, si és viable —i, per tant, sostenible— un consum mundial d'energia que generalitzi les elevades cotes de consum dels països avançats al conjunt del planeta, tant si es considera la disponibilitat de recursos com els efectes sobre el canvi climàtic i altres desafiaments ambientals.

BIBLIOGRAFIA

182

- BUCHANAN, R. A. (1992). *The power of the machine: the impact of technology from 1700 to the present*. Londres: Viking.
- DAUMAS, M. [dir.] (1962-1979). *Histoire générale des techniques*. París: Presses Universitaires de France.
- DERRY, T. K.; WILLIAMS, T. I. (1977). *Historia de la tecnología*. Madrid: Siglo XXI. [Edició anglesa original de 1960]
- LANDES, D. S. (1979). *Progreso tecnológico y revolución industrial*. Madrid: Tecnos. [Edició anglesa original de 1969]
- MCMEIL, I. [ed.] (1996). *An encyclopedia of the history of technology*. Londres: Routledge.
- SINGER, C. [et al.] [ed.] (1954-1978). *A history of technology*. Oxford: Clarendon Press. 7 v.
- WORLDWATCH INSTITUTE (2004). *L'estat del món 2004*. Barcelona: Centre Unesco de Catalunya.
- WRIGLEY, E. A. (1990). *Continuity, chance and change: The character of the industrial revolution in England*. Cambridge: Cambridge University Press.