

El bagul dels llibres: 9. Els diamants i la química

The book chest: 9. Diamonds and chemistry

Santiago Alvarez

Universitat de Barcelona. Departament de Química Inorgànica

Resum: Quan parlem de diamants sintètics, parlem de ciència, de tecnologia, d'economia, de ficció o de psicologia? Una breu excursió per la història recent de la mà dels autors que han somiat, i finalment han aconseguit, sintetitzar diamants ens permet copsar els trets comuns d'aquests somnis que s'han manifestat tant en la ficció com en el laboratori.

Paraules clau: Llibres, química, diamants, alta pressió.

Abstract: When we speak about synthetic diamonds, are we talking of science, technology, economy, fiction or psychology? A jaunt through recent history hand in hand with the authors who dreamed of, and finally achieved, the synthesis of diamonds, allows us to grasp the common traits of those dreams, expressed either in fiction or in the laboratory.

Keywords: Books, chemistry, diamonds, high pressure.

The fact is... I make diamonds

[...]

I had heard something of Moissan, but

I knew his artificial diamonds were very small.

Herbert George WELLS,
The diamond maker (1894)

Els diamants són eterns [1] (figura 1) i els millors amics d'una noia (Marilyn Monroe); poden ser tan grans com el Ritz [2]; hi ha qui els porta a les soles de les sabates (Paul Simon) o qui esmorza amb diamants [3], i la Lucy, que se n'anà al cel amb diamants (The Beatles), podia ben bé haver-se trobat Superman en ple vol lluint al pit la seva inicial emmarcada per la silueta d'un diamant. Un diamant és, segons Marguerite Yourcenar [4], una «substància prima i transparent, fràgil, és cert, però ben poc més que la carn i el cor», mentre que per a Joaquim Maria Bartrina (1850-1880) [5] és

aquella joia bella,
llàgrima, sembla ser,
d'alguna estrella.

D'aquesta pedra mítica, el mite potser més injustificat i perdurable és aquell que pretén que un diamant destrueix el camp magnètic d'un imant. Heinrich Cornelius Agrippa ho posava per escrit a *De occulta philosophia* (1533), i William Gilbert es veia obligat a desmentir aquesta falsa propietat al pri-

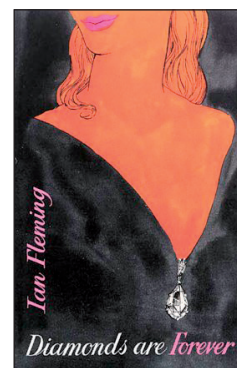


FIGURA 1. Portada de la primera edició de la novel·la *Els diamants són eterns*, d'Ian Fleming (1956), duta al cine dins la nissaga de James Bond.

mer tractat científic sobre magnetisme, *De magnete* (1600). Té moltes altres propietats que el fan un material únic i molt preuat. És molt inert; un excel·lent aïllant elèctric; el material més dur segons l'escala de duresa establerta per Friedrich Mohs el 1812, és transparent a la llum visible i la major part de l'ultraviolat, a l'infraroig, les ones de ràdio, les microones, els raigs X i els raigs γ , i, a més, el diamant fet amb l'isòtop ^{13}C és el material amb la millor conductivitat tèrmica que es coneix. Aquestes propietats el converteixen en un material únic per a una gran varietat d'aplicacions científiques i tecnològiques, que s'afegeixen al seu valor com a objecte de luxe.

Malgrat ser coneguts a l'Índia des de fa milers d'anys, la primera evidència de l'ús d'un diamant com a regal a Europa la trobem el 1450, quan Carles VII de França l'hi ofereix a Agnes Sorel [6]. O bé la moda es va escampar molt ràpidament, o bé aquest obsequi reial era menys innovador del que se suposa, ja que entre els inventaris dels béns d'habitants de Ciutat de Mallorca a l'època medieval [7] trobem, pocs anys més tard, al del noble Ludovico Çanglada:

Una peça rodona, en la qual figurava el cap de Medusa, amb els cabells de serps verds, amb or, decorada amb dues perles grosses, un diamant i un robí a l'entorn del cap.

El tallat de diamants per aconseguir fer-los brillar amb tota la seva magnificència es desenvolupa a mitjan segle XVII. Poc més tard (1726), es descobriren mines de diamants al Brasil, aleshores colònia de Portugal, i un segle llarg després (1866), a Sud-àfrica, cosa que va acabar d'establir les bases del comerç mundial de diamants naturals, amb les seves llums i ombres. Els diamants havien atret l'atenció de savis com Isaac Newton, que creia que el diamant devia ser un cos combustible, o Jean Darcet, que assegurava que els diamants desapareixien en escalfar-los. El 1772, l'Acadèmia de Ciències francesa nomenà una comissió que havia de comprovar si la calor destruïa veritablement els diamants i, en cas afirmatiu, si es devia a la seva evaporació o a una combustió. Després d'algun intent frustrat, Lavoisier decidí provar d'aconseguir temperatures més altes que les que hom podia generar amb un forn convencional aprofitant la radiació solar concentrada mitjançant una lent de Tschirnhausen. Aquesta constituïa una mena de lupa gegantina, un autèntic forn solar, el disseny del qual Lavoisier va canviar reemplaçant les lents de vidre massís per unes altres de vidre buit omplert amb alcohol [8]. Aquest experiment es va dur a terme a París, prop del Louvre, i va constituir tot un espectacle públic al llarg del qual Lavoisier aconseguí cremar un diamant amb el seu forn solar (figura 2) [8]. A més, Lavoisier verificà que el gas després era «aire fix», és a dir, diòxid de carboni. Seguint les petjades de Lavoisier, el químic anglès Smithson Tennant (1761-1815) demostrà, el 1797, que el diamant està format tan sols per carboni. Aquesta constatació va marcar

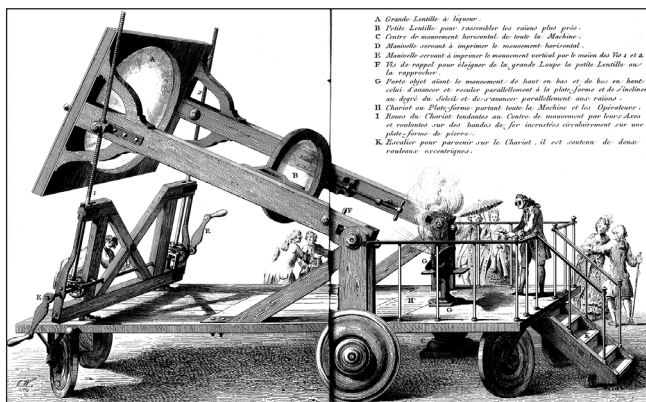


FIGURA 2. Experiment de Lavoisier amb les lents de Tschirnhausen, en què va aconseguir cremar un diamant amb la llum solar. Observeu les ulleres que duu Lavoisier per protegir-se de la intensa radiació.

l'inici d'una sèrie d'intents d'obtenir diamants sintètics a partir del carbó, tant en la ficció com en el laboratori.

Els somnis dels científics i els dels creadors literaris s'alimenten mútuament, i la història de la recerca dels diamants sintètics dóna peu a un interessant exercici comparatiu de la presència històrica d'aquest tema tant en la bibliografia científica com en obres literàries (taula 1). Philip Ball ha observat amb molt encert com el repte dels alquimistes d'aconseguir la transmutació dels metalls en or va ser reemplaçat progressivament pels intents d'obtenir diamants en el laboratori, expressions ambdós de la capacitat humana d'ultrapassar la natura [9].

Alexandre Dumas ho digué explícitament a *Un alchimiste du XIX^e siècle*:

Com que s'havia demostrat als ulls del meu amic [...] que l'or és una quimera, renunciant a predir el futur es dedicà bonament a intentar la producció del diamant.

El protagonista de *Jezebel's daughter*, de Wilkie Collins, en canvi, no renuncià a cap somni i perseguí les tres quimeres alhora: or, pedra filosofal i diamants.

TAULA 1. Algunes obres de ficció relacionades amb l'obtenció de diamants sintètics en els períodes marcats pels principals avenços científics en aquest camp (en negreta)

1792	Lavoisier: demostra que el diamant crema com el carbó [8]
1796	Tennant: diamant i grafit tenen la mateixa composició [10]
1798	Giacomo Casanova, <i>Histoire de ma vie</i> [11]
1822	Jean Paul, <i>Der Komet oder Nikolaus Marggraf</i> [12]
1834	Honoré de Balzac, <i>La recherche de l'absolu</i> [13]
1843	Alexandre Dumas, <i>Un alchimiste du XIX^e siècle</i> [14]
1848	Alexandre Dumas, <i>Joseph Balsamo</i> [15]
1880	Wilkie Collins, <i>Jezebel's daughter</i> [16]
1893	Moissan: intenta l'obtenció de diamants amb el seu forn [17]
1894	Herbert G. Wells, <i>The diamond maker</i> [18]
1907	Parson: intenta l'obtenció de diamants amb pressió mecànica
1911	Victor Appleton, <i>Tom Swift among the diamond makers</i> [19]
1955	Hall: aconsegueix finalment obtenir diamants sintètics [20]
1966	Primo Levi, <i>Histories naturals</i> [21]
1982	Matsumoto: diamants per deposició química de vapor (CVD) [22]

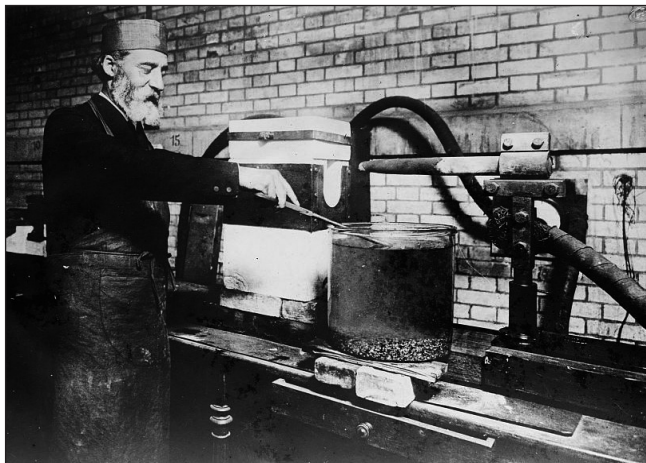


FIGURA 3. Henri Moissan al seu laboratori, temperant un gresol de grafit amb ferro fos per tal d'obtenir diamants sintètics. En segon pla es pot veure el forn i un dels elèctrodes amb què obtenia temperatures de fins a 3000 °C.

No cal dir que els intents de preparar diamants durant el segle XIX no van reeixir. Entre aquests, trobem les recerques d'Henri Moissan (1852-1907), descobridor del fluor i inventor d'un forn elèctric que li va permetre treballar amb temperatures per sobre dels 3000 °C. A més de la temperatura elevada, Moissan compregué que la reacció requereix alta pressió, que ell intentà aconseguir mitjançant el refredament ràpid del ferro fos en què dissolia el carbó (figura 3).

Com que el ferro augmenta de volum en solidificar-se, esperava que la solidificació de l'exterior generés pressió al centre de la solució. Moissan tenia la convicció que havia obtingut diamants [23], si bé més tard es va demostrar que els cristallets formats eren de carbur de silici, no pas de diamant.

En aquell temps, l'estudi de les mines sud-africanes permeté als geòlegs arribar a la conclusió que els diamants es formen a la naturalesa sotmesos a pressions molt elevades. No és estrany, doncs, que en el mateix temps el químic escocès James Ballantyne Hannay (1855-1931), després d'intentar sense èxit obtenir diamants per mitjà de mètodes químics convencionals, decidís provar de generar altes pressions en un tub de ferro tancat, a l'interior del qual hi havia la mescla de reacció, que invariablement acabava explotant. L'irlandès Charles Algernon Parsons (1854-1931), més conegut per la seva vessant d'enginyer i per l'invent de la turbina de vapor, va intentar l'obtenció de diamants generant la necessària pressió per mitjans mecànics i, fins i tot, per l'impacte d'una bala sobre materials rics en carboni. Tot i que tant Hannay com Parsons estaven convençuts d'haver obtingut diamants,

sembla clar que el primer va trobar en el producte de la reacció diamants naturals molt petits que per alguna raó havien contaminat els seus reactius, mentre que, en el cas de Parsons, els cristallets obtinguts eren carburs o bé òxids de magnesi o d'alumini.

Tots aquests intents van nodrir el bagatge d'arguments literaris de final del segle XIX i principi del XX. Així, el tema i el títol d'una narració de Herbert G. Wells reflecteixen aquest món amb tota mena de detalls. En la citació que obre aquest article, ja heu vist que Wells cita explícitament Moissan. Però basta fullejar aquest conte per trobar referències a altres personatges de la nostra història:

Fa tres anys vaig resoldre el problema de la composició del flux, i em vaig apropar a la pressió desitjada introduint aquest flux i una certa composició de carbó dins d'un canó, emplenant-lo amb aigua, segellant-lo hermèticament i escalfant-lo.

Va fer una pausa.

«Força arriscat», vaig dir.

«Sí. Explotà i esmicolà totes les finestres i una bona part dels meus aparells...».

Les experiències de Parsons, per la seva banda, van inspirar la novel·la *Tom Swift among the diamond makers*, de Victor Appleton (nom de ploma de Howard Garis), que descriu com una banda de científics intenta dominar l'energia dels llamps per sintetitzar diamants (figura 4). Appleton posa en boca d'un dels protagonistes l'autèntic problema amb què es trobaven els fabricants de diamants:

«Oh! Conec els ingredients molt bé», digué el senyor Jenks, «però no el secret per aconseguir la calor i la pressió tremendes que són necessàries per fondre els materials i convertir-los en diamants».

En aquest punt, cal esmentar el físic Percy Williams Bridgman (1882-1961), figura cabdal en el desenvolupament de la física de les altes pressions, una contribució que va ser reconeguda amb el Premi Nobel de Física el 1946. Els seus desenvolupaments de tècniques per generar i mesurar altes pressions van arribar al seu punt culminant amb la invenció d'una premsa per generar pressió mitjançant dos èmbols oposats amb sengles encluses de diamant. Encara que Bridgman va aprofitar la seva experiència amb altes pressions per intentar obtenir diamants, no se'n va sortir, i amb l'esclat de la Segona Guerra Mundial va deixar definitivament de banda aquests experiments.

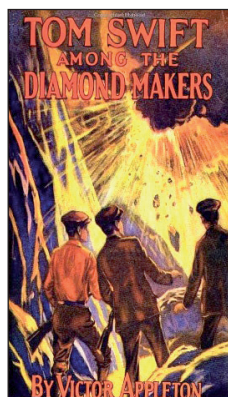


FIGURA 4. Coberta del llibre *Tom Swift among the diamond makers*, de Victor Appleton.

Sembla que Erik G. Lundblad, a la companyia elèctrica sueca ASEA, va obtenir diamants el 1953, però aquesta fita no es va fer pública per evitar donar pistes a la competència, la qual cosa va permetre que el seu competidor estatunidenc, General Electric (abreujat GE d'ara endavant), li guanyés la partida fent públic i patentant el seu procediment d'obtenció de diamants sintètics. El fet que no es conservin diaris de laboratori dels experiments de Lundblad ni mostres dels diamants obtinguts fa que no li pugui ser reconeguda la prioritat que cronològicament potser es mereixia.

L'interès d'ASEA per la síntesi de diamants havia tingut ja uns episodis dignes de ser destacats a la dècada de 1940, quan Baltzar von Platen dirigí uns experiments en què una esfera rica en carbó i de la mida d'una boleta s'envoltava de termita, una barreja de peròxid de bari i magnesi metàl·lic. Aquesta es recobria amb una capa d'esteatita com a aïllant i tot plegat s'encabia dins d'un cub de coure o ferro d'uns 8 cm de costat. En aplicar un corrent elèctric a la termita, la reacció que es produeix genera temperatures superiors als 2000 °C. Per tal d'aplicar pressió hidrostàtica sobre aquest dispositiu cúbic, es feien incidir sis encluses piramidals sobre cadascuna de les seves cares, la qual cosa resultava en una peça esferoïdal d'uns 60 cm de diàmetre. Encara aquesta peça s'envoltava d'una coberta de coure, i el conjunt formava una cambra d'alta pressió de mitja tona de pes. Aquesta cambra, aleshores, se submergia en un tanc d'aigua que era sotmès a una pressió de prop de 6000 atm. Podeu imaginar totes les complicacions que sorgeixen en tractar una tal massa d'aigua a aquestes pressions, les precaucions que s'havien de prendre i els problemes freqüents de fuites del tanc o d'explosions de la cambra per la reacció violenta de la termita.

Un cop superada la Segona Guerra Mundial i reactivada l'economia nord-americana, la demanda de diamants per a usos industrials va entrar en franca expansió. Com sigui que als EUA no hi havia mines de diamants, i les del Canadà encara trigarien dècades a ser descobertes, tots els diamants que es consumien als EUA s'havien d'importar de l'Àfrica o de Sud-amèrica. Es presentava, doncs, una bona oportunitat d'invertir en recerca sobre l'obtenció de diamants sintètics, i amb aquest objectiu GE va crear un grup de treball el 1951 a les seves instal·lacions de Knolls, un pintoresc indret amb vistes al riu Mohawk, prop de Schenectady, a l'estat de Nova York. El projecte Super Pressure, com es va anomenar, es va iniciar amb dos físics, Herbert M. Strong i Francis P. Bundy, i l'únic químic de l'empresa que va acceptar el repte de participar-hi, Howard Tracy Hall. Al grup s'afegiria un any més tard un segon químic acabat de graduar, Robert J. Wentorf.

Encara que es parla sovint d'un «equip», els membres del projecte Super Pressure treballaven de forma individual. Strong i Bundy protagonitzaren diversos intents amb un model de premsa derivat dels dissenyats per Bridgman. Hall, que no tenia entre les seves missions dissenyar els equipaments, va imaginar un nou tipus de premsa a final del 1952 i va aconseguir que els tallers de GE la fessin a estones lliures. Aquest dispositiu (figura 5) consistia en una mena de dònut central, còncau per les dues cares i al forat del qual s'havia d'introduir la mescla de reacció, i dues encluses convexes amb sengles pistons encarregats de transmetre la pressió a la mostra. A causa de la forma de la peça central, aquesta premsa rebé el nom de *el cinturó* (*the belt*). Les primeres proves no van acabar de funcionar bé, atès que els components d'acer no resistien les altes pressions generades. Hall va convèncer els gestors de GE per tal que proporcionessin els fons necessaris per reemplaçar l'acer per carbur de tungstè, més resistent. Amb aquest dispositiu, Hall va arribar a obtenir pressions suficientment elevades per tal d'observar les transicions de fase del cesi i del bari (53 200 i 77 400 atm, respectivament). Finalment, amb *el cinturó*, Hall aconseguí sintetitzar diamants el 16 de desembre de 1954.

Retrospectivament, Hall descrivia d'aquesta manera el moment en què va saber que havia obtingut diamants artificials [24]:

Les meves mans començaren a tremolar, el meu cor batejà més de pressa, els meus genolls es debilitaren i no m'aguantaven. Els meus ulls havien captat la llum espurnejant de dotzenes de petites cares triangulars de cristalls octaèdrics enganxats a les parets de tàntal, i vaig saber que l'home finalment havia fet diamants.

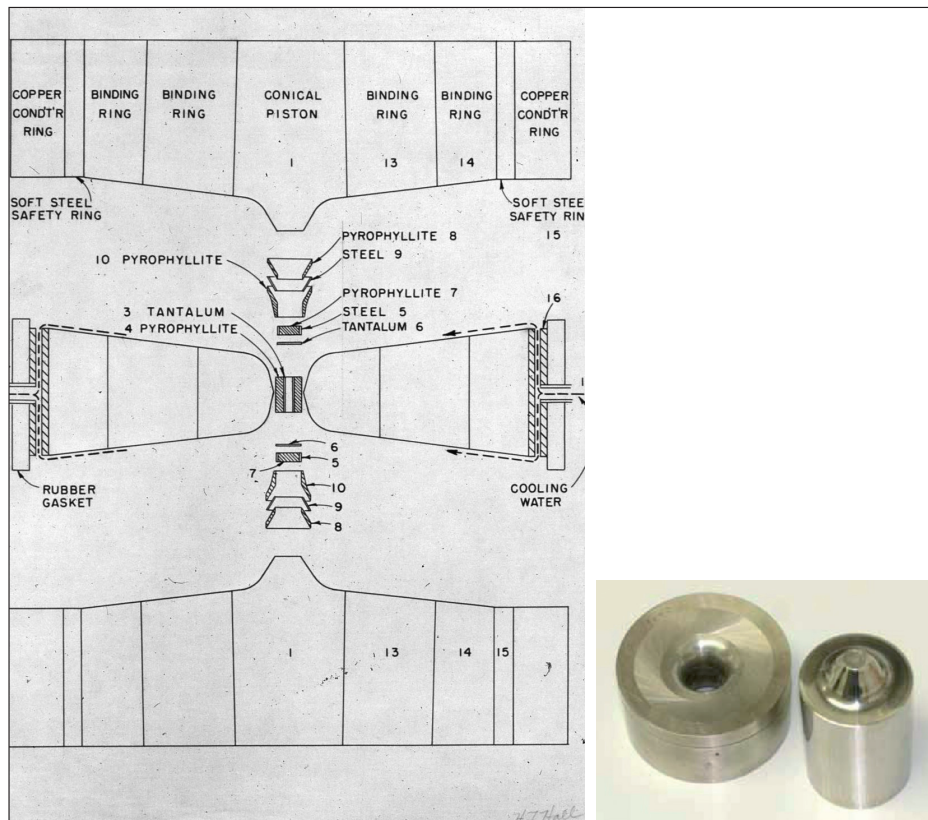


FIGURA 5. Disseny original de la cel·la d'alta pressió anomenada *el cinturó*, fet per H. Tracy Hall l'any 1952 (esquerra). Fotografia del cinturó central i d'una de les encluses fets de carbur de tungstè (dreta).

No em puc estar de reproduir, al costat d'aquesta citació, un fragment del conte *El collar*, de Guy de Maupassant, publicat el 1884:

De sobte va descobrir, dins d'un estoig de setí negre, un collaret de diamants superb; el seu cor va començar a batejar amb un desig desaforat. Les mans li tremolaven quan el va agafar. Se'li va subjectar al voltant del coll, sobre el vestit de coll tancat, i es va quedar extasiada davant d'ella mateixa.

Tot i que l'emoció en veure el brillant és la mateixa, en aquest cas, es tractava d'una imitació, molt possiblement zircònia. Podem descartar que fos una altra imitació, la moissanita o carbur de silici, ja que aquest material el començà a fabricar Edward G. Acheson amb el nom de *carborúndum* el 1890. Com a mineral, va ser descobert encara més tard, en un meteorit de Canyon Diablo, Arizona, per Moissan, que el va identificar erròniament com un diamant el 1893 [17] i, posteriorment, va reconèixer que en realitat es tractava de carbur de silici [25].

Tornem d'aquest petit viatge enrere de la mà de Maupassant als anys en què es produí la síntesi de diamants per part de

Hall. Malgrat el caràcter secret de les recerques de GE, la societat no vivia d'esquena als objectius de científics i industrials, i és freqüent trobar referències a la transformació de carbó en diamants als còmics de la dècada de 1950. Donald, l'ànec de Walt Disney, ho intentà en una historieta publicada l'any 1952



FIGURA 6. Vinyeta de Superman en què l'heroi aplica els seus superpoders per convertir un tros de carbó en un diamant.

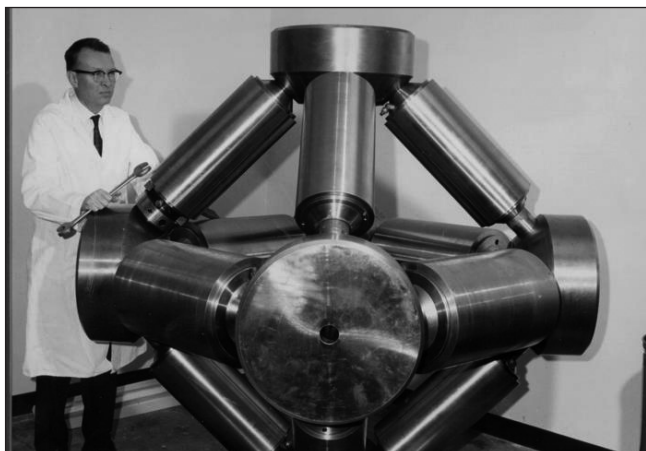


FIGURA 7. H. Tracy Hall amb una premsa octaèdrica per a l'obtenció de diamants dissenyada per ell.

a *Schenectady Times-Union* [26]. Mickey Mouse, en canvi, preferia buscar diamants naturals a la historieta *The mystery of diamond mountain* [27], recreació de l'obra de Scott Fitzgerald. També als còmics de Superman i Superboy va ser freqüent durant aquells anys (figura 6) veure el superheroi emprar els seus superpoders per fer diamants amb les mans i la vista.*

Un any després d'assolir la seva fita, Hall va deixar GE, possiblement decebut per l'escàs reconeixement rebut de l'empresa, per dedicar-se a l'ensenyament i la recerca a la Universitat Brigham Young, a Provo, Utah. Com que pel seu contracte amb GE no podia emprar informació sobre *el cinturó*, va dissenyar una premsa totalment nova que, en comptes d'exercir la pressió en dues direccions oposades, ho feia mitjançant una enclusa tetraèdrica en què quatre pistons apliquen la pressió dels vèrtexs al centre d'un tetràedre. Un cop patentada, aquesta premsa va ser fabricada i venuda a una bona dotzena de laboratoris. Poc més tard, perfeccionà el concepte, i dissenyà i patentà (1964) una premsa cúbica, en què la cel·la és un cub sobre les cares del qual exerceixen pressió sis pistons en disposició octaèdrica (figura 7).

Sense entrar en detalls de la guerra de patents i comercial que va tenir lloc després del descobriment a GE, basta dir que la producció de diamants artificials es va convertir en una indústria lucrativa que es va estendre ràpidament. Avui, la producció mundial de diamants sintètics es troba per sobre dels 4.300 milions de quirats (1 quirat equival a 200 mg),

mentre que la producció de diamants naturals és força més baixa, d'uns 130 milions de quirats.

Primo Levi, al conte *L'ordre a bon preu* (1966) [21], imaginà una forma menys dràstica de preparar diamants, mitjançant una mena de fotocopiadora tridimensional que ens remet a les actuals impressores 3D, o bé a les tècniques de deposició de vapor (CVD, de l'anglès *chemical vapor deposition*) que s'utilitzen actualment per recobrir superfícies amb una làmina de diamant per tal de protegir-les de ratlladures. Pel mètode CVD es van preparar diamants poc després de la síntesi de Hall [28], encara que el punt de partida dels mètodes moderns es troba en els treballs de Seiichiro Matsumoto i els seus col·laboradors a l'Institut Nacional per a la Recerca en Materials Inorgànics del Japó, a la dècada de 1980 [22].

Els diamants naturals apareixen als tractats d'economia clàssica en la paradoxa del diamant i l'aigua, postulada per Adam Smith (1723-1790), que posa de manifest com l'aigua té una gran utilitat però poc valor comercial, mentre que els diamants tenien poca utilitat i un preu molt elevat. Un altre autor que ha tingut una gran influència sobre l'economia i la política del segle xx, Karl Marx, escrivia el 1867 a *El capital*:

Si poguéssim aconseguir amb poc treball la transformació de carbó en diamants, el seu valor podria caure per sota del dels maons.

A diferència del que passava als temps d'Adam Smith, avui els diamants són, a més d'objectes de luxe, materials de gran utilitat en camps molt diversos de la ciència i la tecnologia. També sabem que, tot i que avui es pot transformar carbó en diamants (i es fabriquen per tones), el seu valor està molt lluny de ser menor que el dels maons. Aquestes dues citacions, en qualsevol cas, ens mostren com han estat presents els diamants, tant naturals com artificials, en les formulacions de teoria econòmica i com havia penetrat en la societat, a mitjan segle XIX, la convicció que els diamants sintètics eren a l'abast de la humanitat. Desconec si algun lletraferit o visionari havia previst que es podrien arribar a fer diamants dels cabells dels nostres difunts, tal com ofereixen actualment alguns serveis funeraris:**

El cabell es sotmet a una pressió semblant a la que el carboni necessita per crear un diamant i el resultat és una gemma de característi-

ques similars a les que crea la natura. Els diamants poden ser de diferents colors, grandàries i tipus de tall. El diamant es lliura amb un certificat d'autenticitat que acredita l'origen de la gemma.

Al capdavant, aquestes dues formes al·lotròpiques del carboni, el carbó i el diamant, són una font inesgotable de simbolisme, i la transformació de l'un en l'altre és alhora paradoxal i metafòrica. Aquest material negre, brut i de combustió fàcil és tot un símbol de la duresa del treball a les mines i de la pobresa de sectors de la població europea durant la revolució industrial [29], però, al mateix temps, ha proporcionat energia a la humanitat durant segles i encara permet cobrir una part gens menyspreable de la generació d'energia elèctrica. A l'altra banda del mirall, que es pot traspasar amb altes pressions i temperatures, hi ha el món del diamant, un material transparent, prestidigitador de la llum, símbol del luxe i de l'alta tecnologia. Els sorprenents descobriments de noves formes del carboni, el ful·lerè i el grafè, no ens haurien de fer perdre de vista la importància històrica, tecnològica, econòmica i social de les seves dues formes tradicionals.

Nota

A punt de tancar aquest bagul, ens assabentem que el grup de Yongjun Tian a la Universitat de Yanshan, Xina, ha preparat diamants a partir de *cebes de carboni*, que no són res més que ful·lerens en capes concèntriques. Sotmeses aquestes cebes a temperatures de 2000 °C i pressions de 25 GPa, es formen nanomacles de diamant que suporten temperatures més altes que els diamants naturals i són més dures que aquests, raó per la qual hom pensa que podran tenir aplicacions en eines de tall i de perforació [30].

Referències i altres fonts

- [1] FLEMING, i. *Diamonds are forever*. Nova York: signet, 1956.
- [2] FITZGERALD, S. *El diamant gran com el Ritz*. Trad. de Neus Arqués. Barcelona: Edhasa, 1987.
- [3] CAPOTE, T. *Breakfast at Tiffany's*. Nova York: Random House, 1958.
- [4] YOURCENAR, M. *Obra negra*. Trad. de Felícia Fuster. Barcelona: Proa, 1984. [Versió original: *L'oeuvre au noir*. París: Gallimard, 1991]
- [5] BARTRINA, J. M. *Algo*. 4a ed. Barcelona: I. López, 1884.
- [6] HAZEN, R. M. *The diamond makers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [7] SASTRE, J. *Alguns aspectes de la vida quotidiana a la Ciutat de Mallorca (època medieval)*. Palma: Institut d'Estudis Balearics, 1997.
- [8] LAVOISIER, A.-L. *Mem. Acad. Sci.* (1772), p. 564, 591.
- [9] BALL, P. *Chem. World* (2008), p. 46.
- [10] TENNANT, S. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, núm. 87 (1797), p. 97.
- [11] CASANOVA, G. *Historia de mi vida*. Girona: Atalanta, 2009. [Versió original: *Histoire de ma vie*, 1789-1798; publicat pòstumament el 1825]
- [12] PAUL, J. *Der Komet oder Nikolaus Marggraf. Eine komische Geschichte*. Berlín: Georg Reimer, 1820-1822.
- [13] BALZAC, H. de. *La recherche de l'absolu*. París: Gallimard, 1976. [Versió original: 1834]
- [14] DUMAS, A. *Un alchimiste du XIX^e siècle*. París: Dervy, 1993.
- [15] DUMAS, A. *Joseph Balsamo: Mémoires d'un médecin*. París: Fellens et Dufour, 1846-1848.
- [16] COLLINS, W. *Jezebel's daughter*. Londres: Chatto and Windus, 1880.
- [17] MOISSAN, H. *Le diamant*. París: Gauthier-Vilars, 1893.
- [18] WELLS, H. G. «The diamond maker». A: *The stolen bacillus and other incidents*. Londres: Methuen & Co., 1895.
- [19] APPLETON, V. *Tom Swift among the diamond makers*. Nova York: Grosset and Dunlap, 1911.
- [20] BOVENKERK, H. P.; BUNDY, F. P.; HALL, H. T.; STRONG, H. M.; WENTORF, R. H. *Nature*, núm. 184 (1959), p. 1094-1098.
- [21] LEVI, P. *Contes*. Trad. de Teresa Muñoz Lloret. Barcelona: Edicions 62, 2007.
- [22] MATSUMOTO, S.; SATO, Y.; KAMO, M.; SETAKA; N. *Jap. J. Appl. Phys.*, núm. 21 (1982), p. L183.
- [23] MOISSAN, H. *Ann. Chim. Phys., ser. 8*, núm. 5 (1905), p. 34.
- [24] HALL, H. T. *The Chemist*, núm. 47 (1970), p. 276-279.
- [25] MOISSAN, H. *Compt. Rend.*, núm. 139 (1904), p. 773.
- [26] *Howard Tracy Hall, 1919-2008*. South Jordan: Legacy Books, 2012.
- [27] NOLAN, W. F.; BEAUMONT, C.; MURRY, P. *Mickey Mouse*. Núm. 27. Nova York: Dell Publishing, 1956.
- [28] GRACIO, J. J.; FAN, Q. H.; MADALENO, J. C. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, núm. 43 (2010), p. 374017.
- [29] THESING, W. B. (ed.). *Caverns of night: Coal mines in art, literature, and film*. Columbia: University of South Carolina Press, 2000.
- [30] HUANG, Q.; YU, D.; XU, B.; HU, W.; MA, Y.; WANG, Y.; ZHAO, Z.; WEN, B.; HE, J.; LIU, Z. [et al.]. *Nature*, núm. 512 (2014), p. 250-253.



S. Alvarez

Santiago Alvarez va néixer a Panamà i estudià química a Barcelona. És catedràtic de química inorgànica a la Universitat de Barcelona i la seva recerca s'orienta a l'estudi de l'estructura electrònica, l'enllaç, la forma molecular i la simetria dels compostos de metalls de transició. Des del 2003 publica aquesta secció, que ha dedicat a llibres relacionats amb el món de la química en temes com la comunicació visual, el color, les formes, els miralls, el magnetisme, els elements químics, les dones i els llibres de química o els catecismes químics.