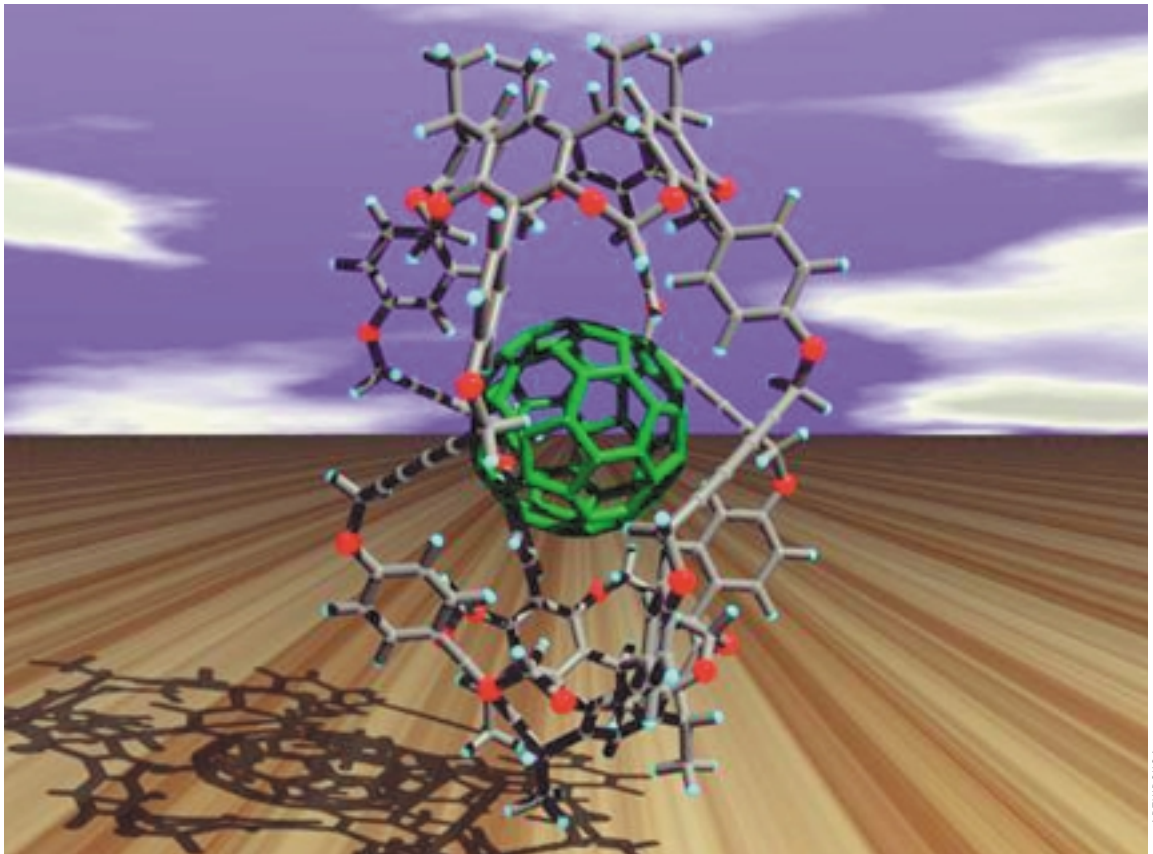


Fulerenoak:

gaurko kimika, biharko apustua

Jon Mattin Matxain / Alaitz Imaz

Kimikariak



ARTXIBOKOA

Karbonoaren kimika luzaroan ikertu izan bada ere, egun gaiak gori-gorian jarraitzen du. Etengabe ari dira ikerketa-bide berriak irekitzen. Azken bi hamarkada hauetan karbonoaren kimikak izugarritzko iraultza izan du, karbono hutsez osaturik dagoen *fulereno* izeneko molekula bereziak aurkitu ondoren. Substantzia hauek aukera eta bide berriak ireki dizkiote zientziari. Baina zabaldu-berri den kimika honen ibilbidea hasi besterik ez da egin; gauza asko baitago aztertzeke, oztopo ugari aurkitu dira jada eta asko oraindik ere gainditu gabe daude.

LURRAZALEKO ELEMENTUEN UGARITASUNA AZTERTUZ GERO, karbonoa ez dela elementu ugarienetarikoa ikus daiteke (batez beste, 320 g karbono dago tona lurrazal bakoitzeko⁽¹⁾). Litosferan beste elementu batzuekin konbinaturik, karrietan eta petrolioan dago. Atmosferan eta itsasoko uretan, ordea, CO₂ moduan dago. Oro har, karbonoa molekula organikoen oinarritzko elementua da. Bizitzarako beharrezkoak diren osagai gehientzuenen oinarria da karbonoa. Eguneroko bizitzan erabiltzen ditugun hainbat erregai (petroliotik ateratako gasolina

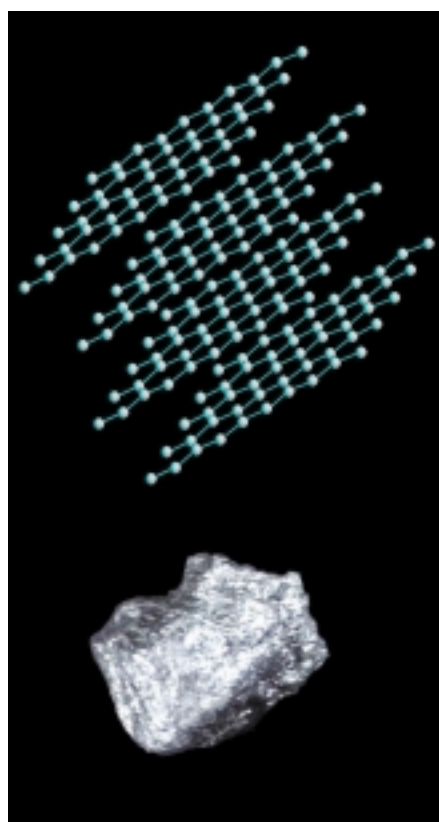
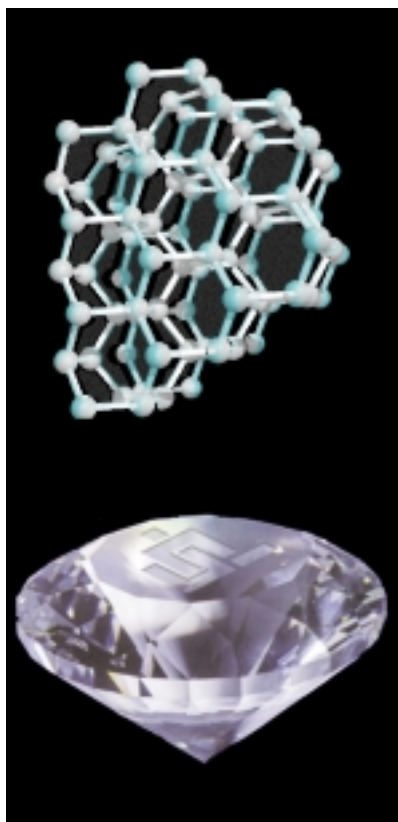
eta butanoa) edota plastiko, karbonoz osaturik daude hein handi batean. Laburbilduz, naturan karbonoa, beste elementuekin elkartu eta nahastu gabe, hiru modu nagusitan aurkitzen dela esan daiteke: diamantea, grafitoa eta ikatz aktiboa. Diamanteak eta grafitoak kristal-egitura dute eta ikatzak, ordea, egitura amorfoa. Karbonoa da, beraz, konposatu gehien eratzen dituen elementua.

Karbono-atomo bakoitzak lau elektroitu azkeneko geruzan eta horien bidez gehienez beste lau atomekin lot daitezke. Grafitoa zein diamantea osatzeko karbono atomoak elkarrekin lotzen dira era ordenatuan. Diamantean atomo bakoitza beste lau karbonorekin elkartzen da tetraedro-egiturak osatzeko. Tetraedro horietako bakoitza erpinetatik beste tetraedro banarekin elkartzen da, hiru dimentsioko sare simetrikoa sortzen delarik. Grafitoaren kasuan, ordea, karbono-atomo bakoitza beste hiru karbonorekin elkartzen da hexagonoz osaturiko xafiak eratuz eta xaflok hiru dimentsioko egiturak osatzeko pilatu egiten dira. Xafla horien arteko loturak diamantean dauden loturak baino ahulagoak dira. Horregatik da grafitoa diamantea baino askoz ere bigunagoa. Hurrengo irudian diamantea eta grafitoa irudikatzen dira.

Diamanteak eta grafitoak egitura zein propietateak desberdinak dituzte, eta erabilera ere desberdina dute. Jakina da diamanteak bitxigintzan duen garrantzia, baina diamanteak berez duen gogortasuna dela eta, ezpurutasun handikoak industrian erabiltzen dira. Grafitoa elektrodoak egiteko, lubrifikatzaile solido gisa eta lapitzen minak egiteko erabiltzen da, besteak beste.

Karbonoz osaturiko egitura berriak

Esan bezala, zientziak aurrerapauso ugari egin du eta oso maiz ezusteko aurkikuntzak egin direnean, ikerketa-ildoak desbideratu, aurreko lana baz-



Diamantea (ezkerrean) eta grafitoa (eskuinean) karbono elementuaren ohiko forma alotropikoak dira.

*“grafito-lurruntatik
laser bidez
lortutako
karbono-plasmak
hirurogeinaka
karbono biltzeko
joera oso
handia du”*

tertu eta bide berriak jorratzen hasi dira. Horixe gertatu zitzaion, hain zuzen ere, 1985ean EEBBko Robert F. Curl eta Richard E. Smalleyri eta Britainia Handiko Harold W. Krotoari. Lan-talde horrek karbono hutsez osaturiko egitura berria aurkitu eta identifikatu zuen: fulerenoa. Lehenago ere beste talde batzuek ikusi zituzten konposatu horiek, baina ez zituzten "karbono hutsezko egitura eze-

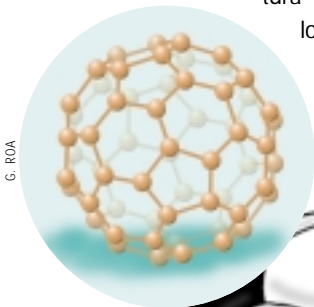
zagun" gisa baino identifikatu. Astrokimikaria den Kroto karbonotan aberats diren izarren konposizioa ikertzen ari zen bitartean aurkitu zituzten fulerenoak. Izar gorri erraldoien kanpo-atmosfera karbono-egiturak behatu asmoz, grafitoa lurrindu egin zuten laser izpien bidez; horrela lortutako karbono-plasma aztertu ondoren, behin eta berriro behatu zuten hirurogeinaka karbono biltzeko joera oso handia zela (baita hirurogeita hamarnaka biltzekoa ere, baina neurri txikiagoan). Aurkikuntza horren ondorioz lortu zuten Kimikako Nobel saria 1996an. ➔

G. ROA

Fulerenoen egitura

Ez zen lan erraza izan aurkitu berri zuten substantzia horren egitura asmatzea. Hainbat buruhausteren ondoren, R. Buckminster Fuller arkitekto eta filosofo amerikarraren (1895-1983) kupula geodesikoen egitura fulereno horiekin bat zetorrela ikusi zuten lehen aipaturiko zientzialariek. Hori dela eta, hasieran "Buckminsterfullereno" izena ipini zitzaizen arren, geroago "fulereno" izena hedatu zen, baina "buckyballs" eta "buckys" izen txeratsua ere ipini zitzaizen. Egitura horrek futboleko baloiaren antza du, alegia,

12 pentagonoz eta 20 hexagonoz osaturiko 60 karbonoko egi-



C₆₀ molekulak futbol-baloiaren itxura dauka.

tura biribil eta hutsa da, C₆₀. Pentagono bakoitzaren inguruan bost hexagono daude egiturari biribiltasuna eman ahal izateko. Egitura hau lortzeko karbono-atomo bakoitza beste hiru karbonorekin lotzen da, grafitoaren kasuan bezala. Ia esfera-itxura duen egitura horren diametroa 7 Å-ekoa (7x10⁻¹⁰ m-koa) da⁽²⁾

Richard Buckminster Fuller

1895ean jaio zen Milton-en (Massachusetts-en). Zientzian zein letratan iaioa izateaz gain, filosofo, olerkari, matematikari eta arkitekto izan zen, besteak beste. Batzuek mirestu eta besteek gutxietsi arren, lan ugari egin zituen (horietako bat kupula geodesikoa) 1983. urtean hil egin zen arte.



ARTXIBOKOA

batez beste, eta bere masa molekularra 720,64koa⁽³⁾ (karbono-atomoarena 12,01ekoa delarik). Fulerenoa ezagutzen den molekularik esferiko eta simetrikoen da. % 94ko esferikotasuna du⁽³⁾. Iru-dian ikus daiteke C₆₀⁽⁴⁾ fulerenoaren eta futboleko baloiaren arteko antza.

Esan bezala, hasieran C₆₀ eta C₇₀ egiturak aurkitu zituzten eta horiek ugarinak izanagatik, pixkanaka, beste batzuk ere aurkitu zituzten: C₂₀ (posible den fulerenorik txikiena, dodekaedro erregularra da, 12 pentagonoz osaturik dago), C₃₂, C₅₀, C₇₆, C₇₈, C₈₄, C₂₄₀, C₅₄₀ eta abar⁽⁵⁾.

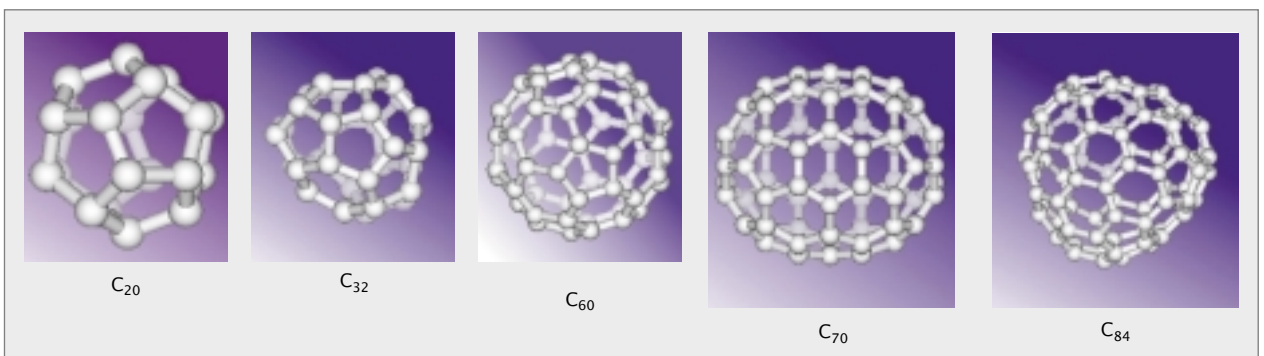
Bestalde, fulerenoen eta grafitoaren tarteko egiturak ere aurkitu dira: nanohodiak eta fuleroide beteak. Nanohodiak⁽⁶⁾ grafito-xafalak tolestuta sortzen diren oso tamaina txikiko hodi zilindrikoak dira eta muturrak fulereno-motako egituren bidez ixten dira. Fuleroide beteak, aitzitik, tamaina desberdineko grafito-fulerenoko geruza zentrokideak pilatuz sortzen dira (tipularen antzera). Ez dakite, ordea, oraindik fuleroide bete horien kantitate makroskopikoak sortu ahal izango ote diren.

Nola egiten dira?

C₆₀-ren sintesia W. Krätschmer eta D. R. Huffman fisikariei zor zaie (1990). Hasieran oso kantitate txikiak lortu zituzten eta hori izan zen, hain zuzen, arazorik handiena. Fulerenoek oso propietate garrantzitsuak dituzten arren, hain kantitate txikiak lortzen ziren (eta horren

“molekula horien egitura R. Buckminster Fuller arkitektoaren kupula geodesikoen egiturarekin bat dator”

ondorioz hain dira garestiak), ezen zaila baitzen ikerkuntzan aurrera egitea. Hori dela eta, hasierako erronkarik handiena fulereno-kantitate makroskopikoak sintetizatzea izan zen. Gaur egun, espezializaturiko laborategietan beren fulerenoak sortzen dituzte.



Fulereno simple ezagunenak.

J. M. MATXAIN / A. IMAZ

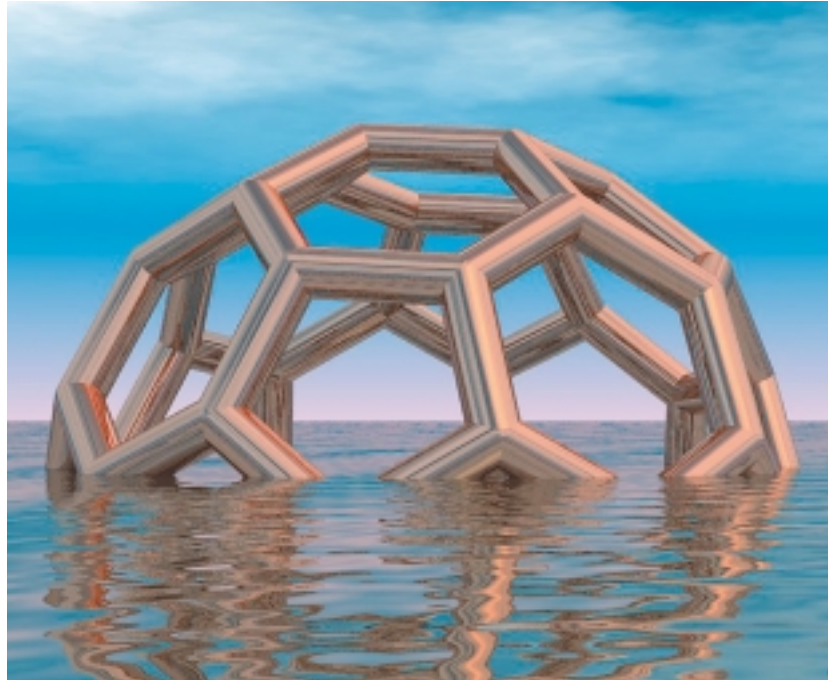
Aipatu zientzialariek aurkituriko prozedura harrezkero zertxobait aldatu bada ere, heliozko atmosfera kontrolatuan ezarritako grafitozko elektrodoen arteko arku voltaikoan oinarritzen da. Horrela fulereno-kantitate txikiak dituen kedarra sortzen da; kedarreko C_{60}/C_{70} proportzioa, gainera, prozeduran erabilitako korrantearen intentsitatearen arabera da. Prozedura hau hasieran erabilitako tresna konplexuarekin alderatuz gero oso sinplea da, baina beste fulereno-iturri batzuk ikertu dira eta ikertzen ari dira egun ere.

Bestalde, egun substantzia asko informatika-programen bidez aztertzen dira. Programa horietan oso kalkulu konplexuak egiten dira, baita emaitza onak lortu ere. Atomoen arteko loturen azterketa teoriotik abiatuz, substantzia kimikoen irudi birtualak lortzen dira eta beren geometria zein energia kalkulaten. Fulereñoak eta eratorriak kantitate makroskopiko, merke eta puruetan lortzea hain zaila izanik, simulazio-azterketa horiek burutzea oso erabilgarria da, molekula horien egonkortasunari buruzko azterketak gauzatzuz, beren propietateak iragar daitezkeelako.

Fulerenoak zertarako?

Edozein materialen erabilera aztertu aurretik, bere propietateak ikertu eta ulertu egin behar dira, propietateen arabera materialak erabilera desberdina izango dituelako. Izan ere, fulerenoen propietateei so eginez, oso interesgarriak direla ikusiko dugu: propietate eroaleak, fotokimikoak, egiturazkoak eta abar dituzte. Propietate anitz horiei esker fulerenoentzat hainbat erabilera egon zitekeela espekulatu zen hasieran.

Egiturazko propietateei dagokienez, fulerenoen egitura txiki eta esferikoaren ondorioz, beren barnean atomo zein molekula txikiak gordetzeko gai dira: metal astunak, farmakoak eta abar. Azken horrek izugarritzko eragina izan dezake medikuntzan; izan ere, farmakoak horrela bilduta gaixoturiko organora iritsiko lirakeke, bidean deuseztatu gabe



ARTXIBOKOA

Fulerenoen egitura kimikaren eta arkitekturaren erdibidean dago.

edo eta beste organoetan kalterik egiteke. Bestalde, elektroien tunel-efektuan oinarritzen diren mikroskopio zehaztuetan ere erabili izan da fulerenoa. Mikroskopio horiek oso punta txikia dute eta bertan fulereno-molekula bat paratuz, bere tamaina txikiari esker, gra-

erresistentzia mekaniko handiagoa dutela (alegia, sendoagoak direla) espekulatu da.

Fulerenoek 27.000 km/h-ko abiadurarekin altzairu-xafla baten aurka puskatu gabe talka egin dezakete⁽³⁾; horrek, hain zuzen ere, molekula horien gogortasuna adierazten du. Horrez gain, oso presio handiak jasateko gai dira, gizakiok atmosferak eraginda pairatzen duguna baino 220.000 aldiz handiagoa⁽³⁾. Ondorioz, bere paketatze-ahalmena oso han-

“fulerenoetan
garrantzitsuenak
propietate eroale
eta fotokimikoak
dira”

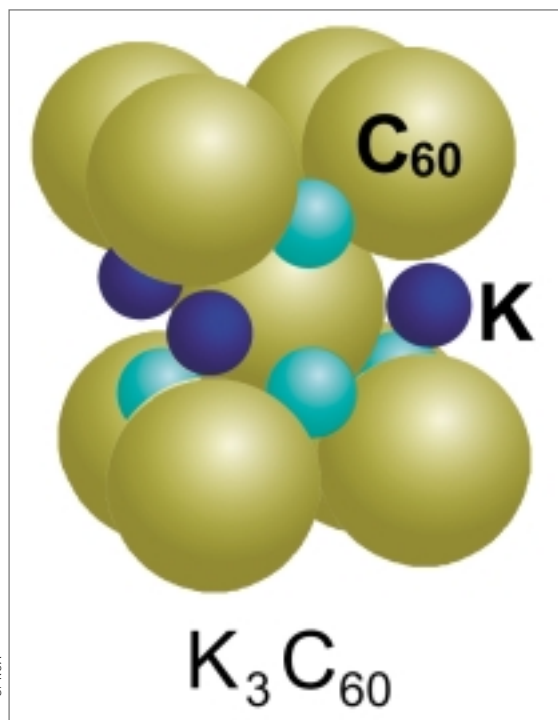
fitoaren atomoak banaka "ikusit" ahal izan dira. Lehen aipaturiko nanohodiek, metalekin konbinatuta, korrante elektrikoak eroaten dute. Beren egitura nanometrikoa kontuan izanik oso hari txikiak eraiki daitezke eta, horren ondorioz, besteak beste, ordenagailuen txipen tamaina txiki daiteke. Gainera, grafito-egitura duten karbono-zuntzak baino



ARTXIBOKOA

Fulerenoak naturan ere badaude.

Fulerenoekin egindako material supereroalea.



G. ROA

dia da, diamantearena halako bi baino gehiago. Gogortasun eta paketatze-ahalmen horri esker industriari diamantearen ordezkio izan daitekeela ere aipatu da.

Hala eta guztiz ere, propietate eroale eta fotokimikoak dira garrantzitsuenetakoak. Horiez gain fulerenoek beste molekulekin konbinatzeko duten gaitasuna kontuan izanik, izugarriko potentziala duten materialak lortzen dira. Fuleroak isolatzaile elektriko gisa edo erdieroale gisa erabil daitezke, elkartzen zaion konposatuaren arabera. Material isolatzaileek ez diote korrante elektrikoari pasatzen uzten; erdieroaleak, ordea, egoera normalean isolatzaile gisa jokatu arren, ingurunetik energi kantitate txikia bereganatzeko gai dira, eta horrela korrante elektrikoa garraiatzen dute. Horretarako fulerenoak beste molekula batzuekin konbinatu behar dira. Fuleroen propietate fotokimikoak direla medio, korrante elektrikoa eroateko behar duten energia hori eguzkitik lor dezakete. Propietate hauei guztiei esker fulerenoak energia berriztagarrien arloan beren bidea egiten hasi dira. Fuleroek esparru honetan duten erabilgarritasuna eta izan ditza-

keten abantailak ikertzen ari dira hainbat laborategitan.


“fulerenoak, besteak beste, potasioarekin edo barioarekin konbinatutakoan, -240 °C-tan supereroale dira”

Fulereno-molekula eratorriek osatutako eguzki-zelula fotovoltaiko iraultzailea aurkeztu zuten 1999an. Horietan, molekula berak elektroioak eman eta hartu egiten ditu, horrela zelularen eraginkortasuna handitu egin daitekeelarik. Dena dela, oraindik oso goiz omen da inolako ondorioz ateratzeko. Egileek ere oraindik zelula honen eraginkortasuna oso txikia dela onartu dute, baina eguzki-energia gehiago zurgatzen duten eratorriak erabilia, hobekuntzak espero egi daitezke.

Oro har, korrante elektrikoa eroaten duten materialek energia galtzen dute, erresistentzia elektrikoa deitzen den fenomenoaren ondorioz. Hori eroaletik mugitzen ari diren elektroiek beren higuduran oztopoak izaten dituztelako gertatzen da. Horrek, noski, eguzki-zeluletan bere eragina du, eguzkitiko energia kantitate bat galdu egiten delako. Mende honetan zehar, ordea, erresistentziarik gabeko materialak aurkitu dira! Horrek elektroiek ez dutela beren higuduran energiari galtzen esan nahi du. Material horiei supereroaleak deitzen zaie. Material supereroale asko aurkitu dira, baina denek arazo berbera dute: oso tenperatura baxuak behar dira supereroankortasuna ager dadin, horrela elektroiek pairaturiko oztopoak desagertu egiten direlako.

Fulerenoak, besteak beste, potasioarekin (K) edo barioarekin (Ba) konbinatuta (irudian ikus daitekeen K_3C_{60} moduan⁽⁵⁾, adibidez) 33 K edo -240 °C-tan⁽³⁾ supereroale dira.

Fulerenoek hainbat eta hainbat erabilera izan ditzaketela ikusi dugu. Egunetik egunera aplikazio ugari aurkitzen zaizkie material berriei eta, horren ondorioz, egun espekulazio hutsak besterik ez direnak errealitate bihurtzeko bidean dira. Fuleroak ugari sintetizatzea lortzen denean, errealitate bihurtuko dira gure gizartean.

Eguzki-zelula fotovoltaikoak eguzkitik heltzen zaion energia korrante elektriko bihurtzen du. Horretarako eguzki-zelulak bi material desberdin behar ditu. Batak argia zurgatzen du eta horren ondorioz elektroioak askatzen ditu eta besteak elektroio horiek bereganatzen ditu. Elektroio horien mugimenduaren ondorioz sortzen da korrante elektrikoa. 

ERREFERENTZIAK ET. BIBLIOGRAFIA

(1) E. GUTIERREZ RIOS. *Química inorgánica*. Ed. Reverté (1988).

(2) C. MANTECA-DIEGO, E. MORAN. *Anales de Química*. vol 90 (1994) 143 or.

(3) www.ciencia.cl/Ciencia AIDia/volumen1/numero1/articulos/articulo4.htm

(4) MODELS OF THE STRUCTURES OF C_{60} . *Acc. Chem. Res.*, vol. 25, No.3, 1992.

(5) shachi.cochem2.tutkie.tut.ac.jp/Fuller/fsl/fsh.html

(6) tiger.chm.bris.ac.uk/cm1/AndrewJ/Welcome.htm

(7) www.kyocera.co.jp/frame/product/applie/solar/light1.html

(8) M. FREEMANTLE. *Chemical & Engineering News*. April 12 (1999) 13 www.nobel.se/announcement.96/chemistry96.html