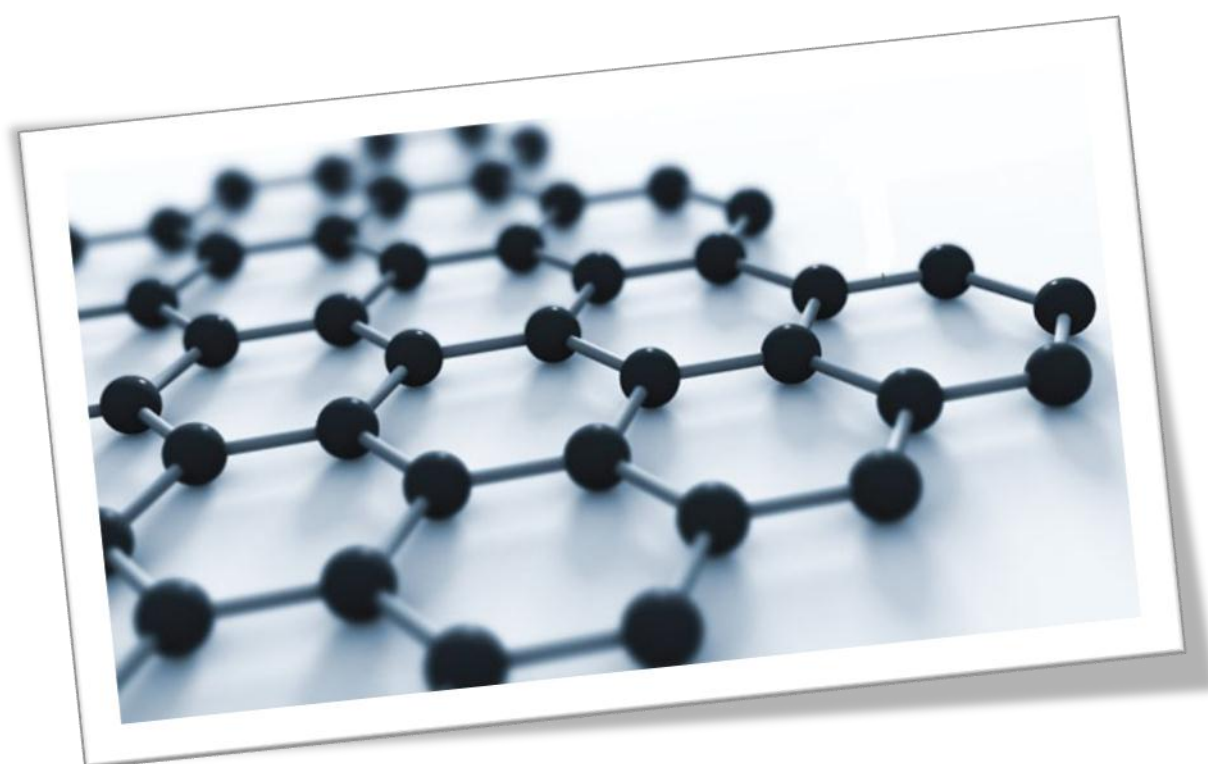


# Grafè, el material del futur



“If you are looking for different results, do not do always  
the same.”

*Albert Einstein (1879-1955), Físic  
Premi Nobel del 1921*

# ÍNDEX

<b>Agraïments</b> .....	<b>1</b>
<b>Introducció</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Què és el grafè?</b> .....	<b>4</b>
1.1 Descobriment i descripció .....	4
<b>2. Obtenció del grafè</b> .....	<b>7</b>
2.1 Jaciments de grafit .....	7
2.2. Tipus de grafit .....	8
2.2.1 Grafit natural .....	8
2.2.2 Grafit sintètic .....	9
2.3 Extracció del mineral .....	10
2.3.1 Minería a cel obert .....	10
2.3.2 Minería subterrània .....	11
2.4 Processament del grafit en grafè .....	12
2.4.1 Mètode de l'Exfoliació Mecànica .....	13
2.4.2 Mètode del CVD .....	14
2.4.3 Mètode del Netejador Ultrasònic .....	15
2.4.4 Mètode de l'Exfoliació Química.....	17
<b>3. Propietats del grafè</b> .....	<b>18</b>
3.1 Propietats mecàniques .....	18
3.2 Propietats elèctriques .....	20
3.3 Altres propietats especials .....	22

<b>4. Aplicacions del grafè</b> .....	<b>23</b>
4.1 Aplicacions en electrònica.....	25
4.1.1 Processadors d'alta freqüència.....	25
4.1.2 Bateria i supercondensadors .....	27
4.1.3 Transistors .....	29
4.2 Aplicacions en informàtica.....	30
4.2.1 Pantalles tàctils flexibles i corbes .....	30
4.2.2 Cables d'alta velocitat .....	33
4.2.3 Auriculars d'alta qualitat .....	34
4.2.4 Càmeres digitals més sensibles .....	35
4.3 Aplicacions en el tractament d'aigües.....	37
4.4 Aplicacions en medicina i biomedicina .....	39
4.5 Aplicacions en seguretat.....	43
4.6 Aplicacions en automobilística i en la indústria del motor .....	44
4.7 Aplicacions en esports.....	45
4.8 Aplicacions en el tractament de residus radioactius .....	47
<b>5. Comercialització del grafè</b> .....	<b>49</b>
5.1 Empreses espanyoles productores de grafè.....	50
5.1.1 Graphenea Nanomaterials .....	50
5.1.2 Graphenano .....	51
5.1.3 Avanzare .....	52
5.1.4 GRAnPH Nanotech.....	52
5.2 Formes de comercialització del grafè .....	53
5.3 Valor econòmic del grafè.....	54

<b>6. Actualitat</b> .....	<b>55</b>
6.1 Informació enganyosa sobre el grafè .....	<b>55</b>
6.2 Graphene Flagship.....	<b>57</b>
<b>7. Part Pràctica</b> .....	<b>60</b>
7.1 Mètode físic – Exfoliació mecànica del grafit .....	<b>62</b>
7.2 Mètode químic – Oxidació i reducció del grafit .....	<b>65</b>
7.3 Comprovació de la conductivitat elèctrica .....	<b>69</b>
<b>Conclusions</b> .....	<b>73</b>
<b>Annex</b> .....	<b>76</b>
<b>Webgrafia i bibliografia</b> .....	<b>87</b>



## Agraïments

La realització d'aquest treball de recerca no hauria estat possible sense l'ajuda de moltes persones. Per aquest motiu vull aprofitar aquest apartat per donar un sincer agraïment a tota aquella gent i institucions que d'alguna manera formen part d'aquest projecte.

En primer lloc, m'agradaria donar les gràcies al meu professor de física i tutor d'aquest treball de recerca Roger Mauricio, el qual m'ha orientat i guiat al llarg de tot el projecte, i m'ha ajudat a resoldre els dubtes que anaven sorgint amb la recerca.

També vull agrair, especialment, el temps que em va dedicar el Dr. Pedro Gómez Romero, investigador principal del grup de Novel-Energy Oriented Materials, científic de l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2) i expert en grafè. Aprecio molt els coneixements que em va transmetre sobre aquest material, així com l'ajuda que em va proporcionar en el laboratori.

De la mateixa manera, dono les gràcies a la nostra professora de química, la Meritxell Mateu, i al meu tiet, el Jorge Borrella, pel seu esforç dedicat en ajudar-me amb la part pràctica del treball.

Una altra persona que va contribuir en el treball, va ser el Dr. David Jiménez, professor del Departament d'Enginyeria Electrònica de la Universitat Autònoma de Barcelona. Moltes gràcies per la informació que em vas poder transmetre via Skype.

Per últim, no vull descuidar-me d'agrair als meus pares el suport que em van donar en tot moment, així com l'ajuda i l'atenció que em van prestar en tot allò que tenien a l'abast.

## Introducció

La idea d'aquest treball de recerca es va originar quan vaig llegir un article sobre un nou material innovador en un diari, fa cosa d'un any. L'autor afirmava que després de conèixer les magnífiques propietats d'aquest nou material, anomenat grafè, tothom quedaria convençut que revolucionaria el futur.

I la realitat és que el grafè no es mereix menys atenció, ja que és evident que en els pròxims anys acabarà imposant-se als actuals materials que aclaparen el monopoli de la tecnologia.

El titular de la notícia era tan persuasiu que no vaig dubtar en començar a llegir la resta de l'article i satisfer la meva impulsiva curiositat. Ràpidament vaig adonar-me que la gran diversitat de característiques que presentava el grafè li donaven aquesta fama, ja que existeixen un nombre molt reduït de materials que combinin propietats tan oposades. Per exemple, em va sorprendre que tot i tenint una duresa dues-centes vegades superior a la de l'acer, quasi igualant la del diamant, pogués ser més flexible que la fibra de carboni.

Des que vaig descobrir l'existència d'aquest material, vaig tenir clar que m'agradaria profunditzar en aquest àmbit per tal d'aprendre més coneixements i poder comprovar les seves propietats i característiques.

És per aquest motiu que quan vaig començar a pensar temes sobre els quals realitzar el treball de recerca, no vaig dubtar en fer-lo sobre el grafè. Tenia pensat fer un treball de comprovació o investigació d'algun tema que estigués dins l'àmbit de les noves tecnologies, i aquest material encaixava perfectament en el que buscava.



En aquest treball de recerca donaré a conèixer el grafè, des del seu descobriment fins als últims avenços, així com les seves diverses propietats i característiques. Explicaré els diferents procediments que s'utilitzen per extreure i processar aquest material, començant pels seus jaciments naturals, i acabant per ensenyar les mostres que es comercialitzen avui en dia.

També entraré a conèixer l'extens àmbit d'aplicacions que té el grafè, i les classificaré segons el seu camp d'aplicació, explicant-los un per un, ja que els científics afirmen que aquest material tan innovador té potencial per influir en gairebé tots els camps.

A continuació parlaré sobre la comercialització que està tenint ara que tot just comença a aparèixer en el mercat, i investigaré en els últims avenços i progressos que s'estan produint amb el grafè, ja que es troba en una etapa experimental.

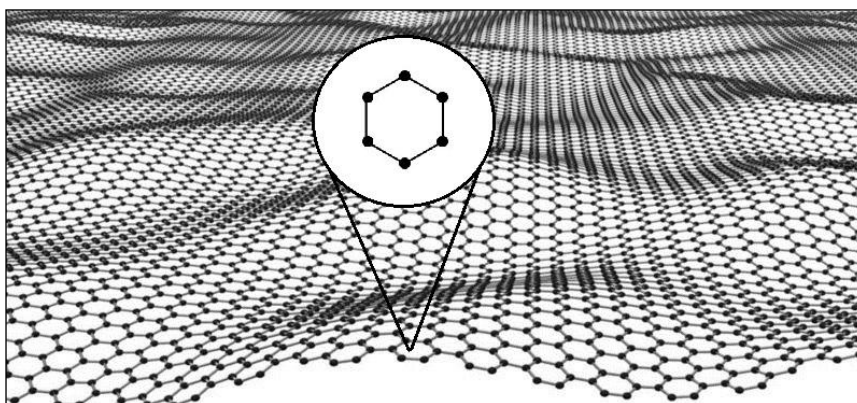
El fet que el material encara s'estigui investigant m'ha comportat una sèrie de problemes a l'hora de trobar fonts d'informació en català o castellà, ja que la majoria es troben en anglès. Tot i així, he intentat alimentar-me de les fonts més fiables i traduir aquelles que més importància tenen en anglès.

Finalment, deixant de banda la part teòrica del treball, em vaig proposar una part més pràctica per a poder comprovar i analitzar les propietats elèctriques del grafè en primera persona. Molt resumidament, aquesta es basa en la utilització de dos mètodes diferents per sintetitzar el grafè, un de físic, i un de químic. Finalment, comprovaré les propietats de les mostres obtingudes.

# 1. Què és el grafè?

## 1.1 Descobriment i descripció

El grafè és un material bidimensional derivat del grafit, format per carboni pur i amb tan sols un àtom de grossor. Es tracta d'un al·lòtrop<sup>1</sup> del carboni i la seva estructura laminar plana està formada per àtoms de carboni units amb enllaços covalents<sup>2</sup>, que es disposen formant una xarxa hexagonal (com un panell d'abelles).



**Imatge 1:** Estructura laminar plana del grafè, formada per combinacions de 6 àtoms de carboni disposats formant una xarxa hexagonal de 1 àtom de gruix.

Actualment és la membrana més fina que s'ha creat mai, i és molt lleuger, una làmina d'1 metre quadrat pesa tan sols 0,77 mil·ligrams.

La seva aparença pot semblar fràgil i delicada, ja que a simple vista es tracta d'una tela flexible i transparent. No obstant això, el grafè es tracta d'un material extremadament resistent, considerat 200 vegades més dur que l'acer, i un excel·lent conductor de l'electricitat.

---

<sup>1</sup> Una de les formes d'un element químic pur que es diferencia d'aquest en la seva estructura cristal·lina.

<sup>2</sup> Un enllaç covalent és un enllaç químic que es produeix entre dos o més àtoms per assolir l'estabilitat electrònica.

El nom de grafè va ser adoptat oficialment el 1994, després de ser designat com una monocapa de grafit durant molts anys. Aquest nom prové de l'intercanvi, en el vocable grafit, dels sufixos: “-it” per “-è”: propi dels carbonis amb enllaços dobles. En realitat, l'estructura del grafit pot considerar-se una pila de gran quantitat de làmines de grafè superposades.

El sobtat augment de l'interès científic pel grafè pot fer l'efecte que es tracta d'un material realment nou, però en realitat és conegut i descrit químicament des de fa més de mig segle. La seva estructura i enllaç químic van ser descrits durant el 1930, i Philip Russell Wallace (1915-2006) va ser el primer a calcular, el 1949, la seva estructura electrònica de bandes<sup>3</sup>.

Al grafè no se li va donar importància ni atenció durant dècades, ja que es pensaven que era un material termodinàmicament inestable, i creien que les fluctuacions tèrmiques<sup>4</sup> destruirien l'ordre del cristall en 2D, que com a conseqüència, aquest es fondria.

És per aquest motiu que va ser tan revolucionari que els físics russos Andréy Gueim i Konstantín Novosiólov aconseguissin aïllar el grafè a temperatura ambient. Gràcies a la seva constant investigació en aquest material, el 2010 van rebre el Premi Nobel de Física pels seus nous i innovadors experiments amb el grafè en dues dimensions.

A més, moltes nanoestructures recentment descobertes, com els nanotubs de carboni, estan relacionades amb el grafè. És per aquest motiu que a aquests nanotubs tradicionalment se'ls ha descrit com a làmines de grafè enrotllades sobre si mateixes.

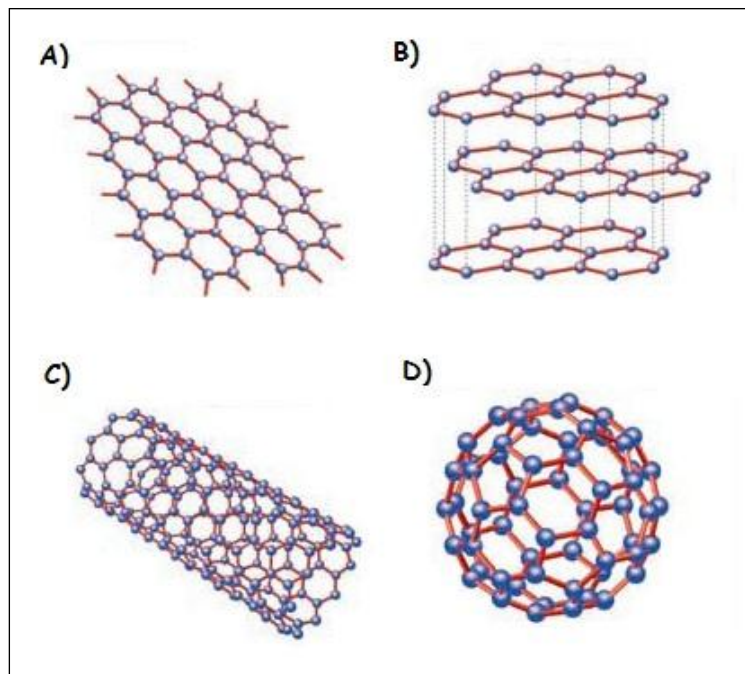
---

<sup>3</sup> Teoria a partir de la qual es descriu l'estructura electrònica d'un material en estat sòlid, com una estructura de bandes electròniques.

<sup>4</sup> Desviacions tèrmiques aleatòries que es fan més grans i freqüents a mesura que augmenta la temperatura.

De fet, no només els nanotubs i el grafit en si estan formats per grafè com a base, sinó que altres materials innovadors i revolucionaris també parteixen d'aquest.

És el cas del fullerè, la tercera forma molecular més estable del carboni, després del grafit i el diamant. Aquest presenta unes propietats semblants a les del grafè, i és que bàsicament està format per una membrana de grafè enrotllada en forma d'esfera.



**Imatge 2:** A) Grafè. B) Grafit. C) Nanotub. D) Fullerè.

Tal com es pot apreciar en la imatge anterior, el grafè es mostra com la unitat bàsica de cada component: En el cas del grafit, es pot considerar com una sèrie de làmines de grafè superposades unes sobre les altres; en el cas dels nanotubs, són simplement làmines de grafè enrotllades en forma de tub; i en el cas del fullerè, es tracta de làmines de grafè enllaçades en forma d'esfera.

## **2. Obtenció del grafè**

### **2.1 Jaciments de grafit**

Com és lògic, el grafè no es troba en jaciments a plena naturalesa del nostre planeta, ja que aquest se sintetitza a partir del grafit. És per això que per remuntar-nos als orígens d'aquest material en primer lloc haurem de buscar l'origen del grafit, el mineral a partir del qual l'obtenim.

El grafit és una forma natural del carbó, i tot i que aquest es pot extreure directament dels jaciments naturals en què es troba, també pot ser produït artificialment.

Basant-nos en el primer cas, el grafit natural és un mineral que es troba abundantment per tot el món, però principalment a Europa, Àsia i Nord Amèrica, i el major productor de grafit és Corea del Sud, seguit per Àustria i els Estats Units.

Mentre que en el segon cas, el grafit sintètic pot ser produït en qualsevol laboratori a partir de carbó i altres materials aglomerants.

El fet que el grafit sigui tan abundant en el nostre planeta i que a més a més pugui produir-se sintèticament, significa que la base del grafè no és difícil de trobar o produir, a diferència d'altres materials innovadors que són realment escassos.

Aquest es tracta d'un altre punt a favor que sens dubte ajudarà al grafè a ser introduït en el mercat del futur.

## 2.2 Tipus de grafit

Com ja s'ha dit en l'apartat anterior, el grafit pot ser natural o sintètic d'acord amb la manera com s'obtingui; però en utilitzar processos totalment diferents, aquests tipus de grafit adopten unes propietats diverses, fet que els hi dóna uns usos i funcions o uns altres. Tot seguit, analitzaré aquestes dues varietats.

### 2.2.1 Grafit Natural

En els jaciments naturals de grafit, aquest pot aparèixer de diverses formes segons la zona geològica en què es trobi, amb característiques pròpies. Les diferents formes que pot adoptar el mineral es divideixen en cristal·lines (escames i vetes), o microcristal·lines (amorf):

- **Formes cristal·lines:** El grafit té forma de cristalls hexagonals en forma d'agregats compactats, escamosos, i esfèrics. Dins les formes cristal·lines, se'n distingeixen dues variants més, les escames i les vetes:

**Escames:** El mineral adopta forma de làmines planes d'aspecte escamós. Aquestes làmines de dimensions variables tenen un aspecte greixós, i estan separades les unes de les altres, cristal·litzades en les roques metamòrfiques<sup>5</sup>. A més, les escames contenen un 99,9% de grafit.

---

<sup>5</sup> Són aquelles que es formen per metamorfisme, és a dir, en sotmetre-les a altes pressions o temperatures sense que s'arribin a fondre.

**Vetes:** El mineral és localitzat en forma de vetes hidrotermals o en forma d'acumulacions al llarg de les superfícies de contacte entre pegmatites i calcàries (dos tipus diferents de roques). Comercialment se separen d'acord a la seva grandària, que varia des dels pocs mil·límetres fins als 2 metres. Són considerades la forma més pura, ja que contenen un 100% de grafit.

- **Formes microcristal·lines:** El grafit d'aquesta mida és anomenat amorf, i es troba en forma de partícules microcristal·lines més o menys uniformement distribuïdes en les roques metamòrfiques suaus, com la pissarra. Aquesta varietat té una aparença terrosa, negra i suau, i el producte comercial que s'obté conté entre un 50 i 94% de grafit.

### 2.2.2 Grafit Sintètic

El grafit sintètic es produeix bàsicament a partir de carbó i altres materials aglomerants.

Al ser un subproducte de processos controlats, el contingut de carboni i grafit obtingut és més uniforme en els seus diferents tipus, igual que les seves propietats, que són millors que les del grafit natural. A més, també té una resistència superior gràcies a què en tot moment de la seva producció és regulat i controlat per obtenir aquestes característiques. És per aquest motiu que el grafit natural i el sintètic no competeixen en el mateix mercat, ja que són destinats a aplicacions diferents.

Com és d'esperar, el grafit sintètic, al ser millor, està aconseguint imposar-se sobre el natural, que ja només es prefereix en la producció d'acer per augmentar-ne el contingut de carbó.

## **2.3 Extracció del mineral**

L'extracció del grafit natural es basa en el grau d'alteració de la roca mineral i la proximitat del mineral a la superfície. En tot el món, el grafit és extret mitjançant dues tècniques: el mètode de tall obert, pel qual s'utilitzen les pedreres en la superfície, i el mètode subterrani.

Però no tots els tipus de grafit natural poden ser extrets de la mateixa forma. Mentre que el grafit natural en forma cristal·lina d'escames i el de forma microcristal·lina o amorf poden ser extrets mitjançant les dues tècniques, el grafit en forma cristal·lina de vetes, o més ben dit, el grafit més pur, només pot ser extret de la naturalesa a través de la mineria subterrània.

### **2.3.1 Minería a cel obert**

La mineria a cel obert implica l'extracció de roques o minerals d'una mina a cel obert o excavada.

Els mètodes a cel obert s'utilitzen quan el mineral es troba prop de la superfície terrestre i el material que forma la capa que cobreix el dipòsit és prim.

Les pedreres són una de les formes de mineria de superfície més utilitzada per obtenir grafit trencant les roques, ja sigui mitjançant la seva perforació, o mitjançant l'ús d'explosius de dinamita amb la finalitat de trencar i obrir les roques i així comprimir l'aire o aigua per dividir-les.



La mineria de perforació és comuna tant en mètodes a cel obert com en subterranis. Aquesta implica la perforació d'un forat per aconseguir el mineral fent una pasta amb aigua a través d'un tub de bombament, i bombant de nou l'aigua amb el mineral a un tanc d'emmagatzematge per al seu posterior processament.

Els mètodes de perforació i explosions s'utilitzen en la roca mineral dura per alliberar gran quantitat d'escates de grafit que després es tritura i mol abans de ser sotmes a flotació<sup>6</sup>. El grafit extret és portat a la superfície per locomotores o, als països en desenvolupament, triat a mà, amb pales i tirat en un carro i per ser traslladat a la planta per al seu posterior processament.

### **2.3.2 Mineria subterrània**

La mineria subterrània es realitza quan el mineral es troba a una profunditat major.

La mineria de roca dura, la mineria de conductes i la mineria d'inclinació són exclusives de la mineria subterrània i són emprades en l'extracció del grafit.

La mineria subterrània es realitza bàsicament de dues maneres: de càmeres i túnels, o de pilars, un mètode d'extracció mecanitzat en el qual els pilars formats pel carbó sostenen el sostre de les coves, que es tanquen automàticament quan aquests s'extreuen. Llavors la mineria continua per on les capes del mineral s'extreuen únicament dels pilars.

---

<sup>6</sup> Procés fisicoquímic que separa les espècies minerals mitjançant l'adhesió selectiva de partícules minerals a bombolles d'aire.

## 2.4 Processament del grafit en grafè

Una vegada obtingut el grafit, ja sigui de forma sintètica o natural, és hora de transformar-lo en grafè.

Com ja s'ha dit anteriorment, gràcies a què aquest material s'obté a partir de grafit, el podem processar des de quasi qualsevol objecte que contingui aquest mineral, com per exemple la mina d'un llapis.

El problema és que per poder aprofitar les virtuts del grafè al màxim, aquest ha de ser el més pur possible, i en el cas de les mines dels llapis s'han trobat diversos minerals que es barregen amb el grafè, la qual cosa disminueix bastant la seva puresa.

És per aquest motiu que s'han investigat i trobat nous mètodes per transformar el grafit en grafè de la forma més pura possible, com per exemple el CVD (Chemical Vapor Deposition), que es tracta d'un procés químic més complex.

Tot seguit exposaré i comentaré l'eficàcia i el cost econòmic de cada un dels mètodes que s'han utilitzat al llarg del temps per obtenir grafè, des dels més simples que es poden fer a casa, fins als més complexos que utilitzen la tecnologia punta dels laboratoris.

Cal dir que encara no s'ha trobat un mètode que s'imposi de forma aclaparadora sobre els altres, ja que, o bé s'obté grafè impur amb poc cost econòmic, o s'obté grafè d'alta qualitat, però amb un cost que no és del tot rendible.

El que és cert, és que gràcies als diferents mètodes descoberts, avui en dia ja es pot obtenir grafè en forma de làmines, en pols, en una dissolució, o bé directament dipositat sobre altres compostos.

### 2.4.1 Mètode de l'Exfoliació Mecànica

Va ser el primer mètode descobert per demostrar l'existència del grafè, i amb el qual els físics russos Gueim i Novosiólov van partir a l'hora de fer els seus experiments que els hi van concedir el Premi Nobel de Física.

Aquest mètode es basa en utilitzar la mina d'un llapis per dipositar una capa gruixuda de grafit sobre un paper. A continuació, s'utilitza cinta adhesiva per arrencar una capa de grafit del paper. Tot seguit s'agafa un altre tros de cinta per eliminar una altra capa del grafit enganxat a la primera cinta adhesiva, i se segueix així successivament.

Amb el temps s'obtindran capes de grafit més i més primes, i el resultat final serà el grafè, que serà una sola capa de grafit en el sentit estricte, és a dir, d'un àtom d'amplada.

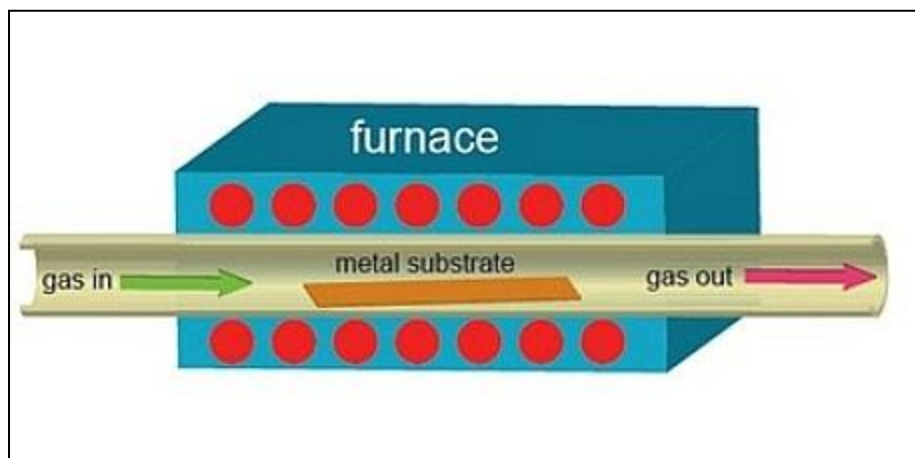
Aquesta forma d'obtenir grafè no és eficaç, ja que el material obtingut no és funcional i, a més, és impur; però com ja s'ha esmentat, només es tracta d'una demostració de com s'arriba al grafè a partir del grafit.

És cert que s'ha intentat perfeccionar aquest mètode per obtenir grafè més pur, com per exemple utilitzant una pedra pura de grafit en comptes d'una mina d'un llapis, però el resultat segueix sent poc pràctic i impossible de dur a terme a gran escala.

## 2.4.2 Mètode del CVD (Chemical Vapor Deposition)

Es tracta d'un mètode molt més professional d'obtenir grafè en forma de làmines que es va descobrir el 2009, i és dels més utilitzats avui en dia. Cal dir, però, que es tracta d'un procés amb més cost econòmic, ja que utilitza un reactor CVD, que és un aparell químic utilitzat per obtenir materials sòlids de gran puresa en forma de pel·lícules molt primes.

En el cas del grafè, s'introdueix un gas amb gran contingut de carboni en el reactor i tot seguit s'aplica una quantitat d'energia per aconseguir que els àtoms de carboni del gas es dipositen sobre un substrat metàl·lic, que acostuma a ser de coure o níquel. Finalment s'aconsegueixen les làmines de grafè sobre el substrat utilitzat, el qual dependrà de l'ús que se li vulgui donar al grafè.



**Imatge 3:** Esquema bàsic del funcionament d'un reactor CVD a l'hora d'obtenir grafè. En el reactor s'introdueix el gas, que és escalfat de tal manera que les partícules de carboni es dipositen en el substrat metàl·lic, mentre que el gas restant es extret pel conducte de sortida.

El grafè obtingut mitjançant aquest procés és el més pur creat fins avui en dia, i permet la producció a gran escala. Però com ja he dit anteriorment, la utilització d'un reactor CVD fa augmentar el seu preu de forma considerable.

### **2.4.3 Mètode del Netejador Ultrasònic (Oxidació-Reducció)**

Aquest mètode és utilitzat per produir grafè en pols, i de la mateixa manera que en el procés anterior, també utilitza material químic d'alt cost. En aquest cas estem parlant d'un netejador ultrasònic, un aparell químic que es pot trobar fàcilment en la majoria de laboratoris.

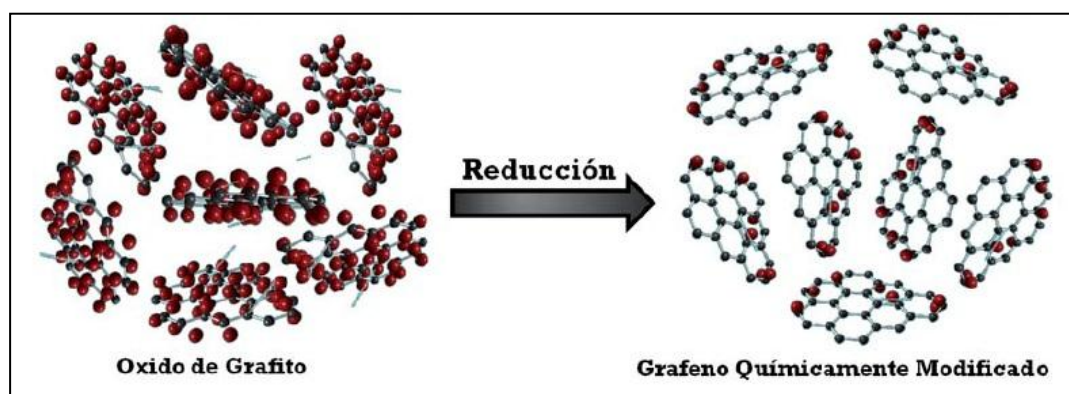
Aquest procés és més complexa que els altres, ja que per entendre'l hem de partir de la visualització del grafit a escala molecular, el qual està format per una sèrie de làmines de grafè apilades les unes sobre les altres.

El problema és que aquestes làmines són molt difícils de separar, i és per aquest motiu que per aconseguir-ho cal oxidar el grafit. D'aquesta manera aconseguim òxid de grafit en una dissolució aquosa, en la qual és més simple de separar les diferents capes de grafè que formen el grafit.

Tot seguit s'introdueix la mescla en el netejador ultrasònic, on els ultrasons aconseguixen separar les làmines oxidades del grafè. El resultat es tracta d'unes escames d'òxid de grafè d'un gruix d'aproximadament 300 nanòmetres, molt pròxima a l'amplitud d'un sol àtom.

Aquest procés també és anomenat com l'oxidació-reducció del grafit, ja que bàsicament és el que hem explicat anteriorment: primer s'oxida el grafit per tal que sigui més simple de separar les làmines de grafè, i tot seguit aquest es redueix a escames de grafè mitjançant un netejador ultrasònic.

El grafè que s'obté es troba en forma de pols i s'utilitza en aplicacions que requereixen un material més barat, com compostos per a la construcció, tot i que el més freqüent és barrejar-lo amb altres materials.



**Imatge 4:** Transformació de l'òxid de grafit en escames oxidades de grafè per reducció, és a dir, mitjançant la utilització d'un netejador ultrasònic.

Tal com es pot observar en la imatge anterior, l'únic problema que presenta aquest mètode, és que al obtenir el grafè, aquest encara està oxidat, fet que provoca que les seves propietats no siguin tan bones i que no condueixi tan bé l'electricitat.

Malgrat això, el mètode per reducció-oxidació segueix sent un dels més utilitzats juntament amb el CVD, ja que tots dos ens permeten obtenir el material en formes molt mal·leables i fàcils d'aplicar i introduir en el mercat, com són les làmines, i en forma de pols.

A més, aquest procés també ens ofereix la possibilitat de crear grafè en grans quantitats, tot i que presenta unes propietats més pobres. És per aquest motiu que la utilització d'un reactor CVD actualment s'està imposant sobre aquest mètode, ja que tots dos tenen un cost elevat, però un ofereix el grafè en millors condicions.

#### 2.4.4 Mètode de l'Exfoliació Química

Per últim també he volgut comentar el mètode de l'exfoliació química, tot i que encara es troba en fase de desenvolupament, però que permet obtenir grafè en làmines que varien entre tan sols 1 i 10 nanòmetres.

En el procés d'obtenció de grafè mitjançant l'exfoliació química es parteix d'unes làmines de petit gruix de grafit, i del què es tracta, és de trencar els enllaços que uneixen aquestes làmines per tal d'obtenir el grafè. Per aconseguir-ho, s'apliquen vibracions mitjançant ultrasons.

A més, per tal d'evitar que les làmines de grafè no s'uneixin de nou per a formar grafit, s'introdueixen uns compostos químics de caràcter tensactiu<sup>7</sup> entre les capes de grafè.

Aquest mètode seria semblant al del netejador ultrasònic, que també utilitza els ultrasons per separar les làmines de grafit, però la diferència és que en aquest procés no cal oxidar el grafit per separar-lo.

És per aquest motiu que s'obtenen làmines de grafè més primes, però també és cert que té un cost econòmic major i és molt més difícil de dur a terme a gran escala.

---

<sup>7</sup> Les substàncies tensactives impedeixen que es separin les dues fases amb les quals es troben en contacte mitjançant la tensió superficial de les superfícies de contacte.

### 3. Propietats del grafè

Una vegada obtingut el grafit, i processat en grafè, és hora d'analitzar les seves propietats, les quals es divideixen dos grups: mecàniques i elèctriques. A més, el grafè també té unes propietats que van més enllà de les mecàniques i elèctriques.

#### 3.1 Propietats mecàniques

Les propietats mecàniques de qualsevol material són aquelles propietats dels sòlids que es manifesten quan apliquem una força. Les propietats mecàniques dels materials es refereixen a la capacitat dels mateixos de resistir accions de càrregues.

En el cas del grafè, les propietats mecàniques més sorprenents són:

- Es pot dividir en làmines de tan sols 1 àtom de gruix, és a dir, de 0,1 nanòmetres.
- És un material realment lleuger, ja que el seu pes és de  $0,77 \text{ mg/m}^2$ . Per poder establir una comparació, només cal fixar-nos en el pes de l'acer:  $7,85 \text{ kg/m}^2$ .
- El seu diminut pes pot fer-nos pensar que és un material fràgil, però es tracta de tot el contrari. El grafè té una duresa 200 vegades superior a la de l'acer, quasi igualant al diamant. A més, es creu que per a poder trencar-lo amb un objecte afilat, s'hauria d'aplicar una força de quatre tones.
- Està format per uns enllaços covalents extremadament rígids gràcies al fet d'estar compost per un sol tipus d'àtoms (Carboni). Aquesta característica li permet evitar l'aparició de deformacions estructurals que podrien provocar el seu trencament.



- Es tracta d'un material impermeable a tots els elements químics gràcies a la seva elevada densitat, que no deixa travessar ni els àtoms més petits coneguts, els de l'heli.
- El grafè és elàstic i flexible<sup>8</sup>, ja que pot ser estirat de forma reversible fins a un 20% sense sofrir cap tipus de deformació. Aquesta impressionant característica juntament amb el fet que és un material transparent, permetrà crear innovadores pantalles flexibles en un futur.
- Aquest material és capaç de reaccionar químicament amb altres substàncies per tal de crear nous compostos o materials amb diferents propietats. Gràcies aquest fet, el grafè té un gran potencial de desenvolupament.



**Imatge 5:** El 2012, científics de la Universitat de Zhejiang (Xina), van aconseguir crear el material més lleuger conegut fins avui en dia: un aerogel de grafè. Aquest es tracta d'una espuma formada bàsicament per grafè, fet que li dóna una densitat de tan sols  $0,16 \text{ mg/cm}^3$ , més lleuger que l'heli.

---

<sup>8</sup> L'elasticitat i la flexibilitat d'un material mesuren la capacitat d'aquest de sofrir deformacions i recuperar la seva forma inicial.

## 3.2 Propietats elèctriques

Les propietats elèctriques de qualsevol material determinen el comportament d'aquest quan hi apliquem un corrent elèctric.

Es creu que el real potencial del grafè es desenvoluparà a partir de les seves propietats elèctriques, però sense menysprear les seves increïbles propietats mecàniques, que el complementaran i l'ajudaran a imposar-se sobre els altres materials.

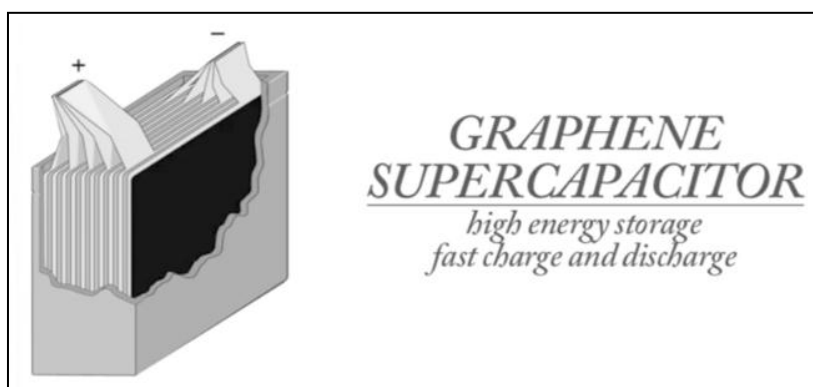
Entre totes les propietats elèctriques del grafè, destaquen:

- Té el record de la conductivitat tèrmica més elevada enregistrada fins avui en dia, que és la propietat que mesura la capacitat dels materials per conduir la calor.
- La seva conductivitat elèctrica és superior a la del coure, que és el material més utilitzat avui en dia per fer la base dels cables, i unes 100 vegades superior a la del silici. A més, el grafè necessita menys quantitat d'electricitat per transportar energia que els materials utilitzats actualment, com el silici. Això significa que les bateries formades de grafè durarien molt més que les actuals i tindrien més capacitat.
- Presenta un baix efecte Joule<sup>9</sup>, ja que el grafè gairebé no s'escalfa en conduir els electrons.
- Pot generar electricitat si és atacat per la llum. És a dir, que si per exemple un llamp impactés sobre el grafè, aquest podria emmagatzemar o utilitzar l'electricitat que genera el llamp.

---

<sup>9</sup> L'efecte Joule és el fenomen pel qual si en un conductor circula un corrent elèctric, part de l'energia cinètica dels electrons es transforma en calor, elevant la temperatura del material.

- El grafè presenta una elevada mobilitat electrònica<sup>10</sup>. A més, aquesta pot ser augmentada fins a unes xifres extraordinàriament altes en comparació amb els conductors convencionals, mitjançant la inducció d'electrons.
- Es tracta d'un material que suporta bé la radiació ionitzant, és a dir, les radiacions com els rajos X o els rajos gamma. Aquesta característica li obre les portes a l'àmbit sanitari, ja que en l'actualitat la majoria dels materials es desgasten ràpidament si se'ls hi aplica radiacions ionitzants.
- En tractar-se d'un material elàstic, quan aquest és deformat, els seus àtoms creen un efecte semblant al d'un camp magnètic, permetent canviar la trajectòria dels electrons. Això permet combinar l'ús del corrent elèctric amb la flexibilitat del grafè per crear pantalles conductores flexibles.
- Presenta una baixa resistivitat, és a dir, poca resistència elèctrica al oposar-se al pas del corrent elèctric.



**Imatge 6:** Les bateries de grafè podrien suposar la substitució de les bateries actuals en un futur pròxim, ja que aquestes permetran emmagatzemar més energia, i seran molt més ràpides a l'hora de transferir-la. Segons Richard Kaner, professor de química:

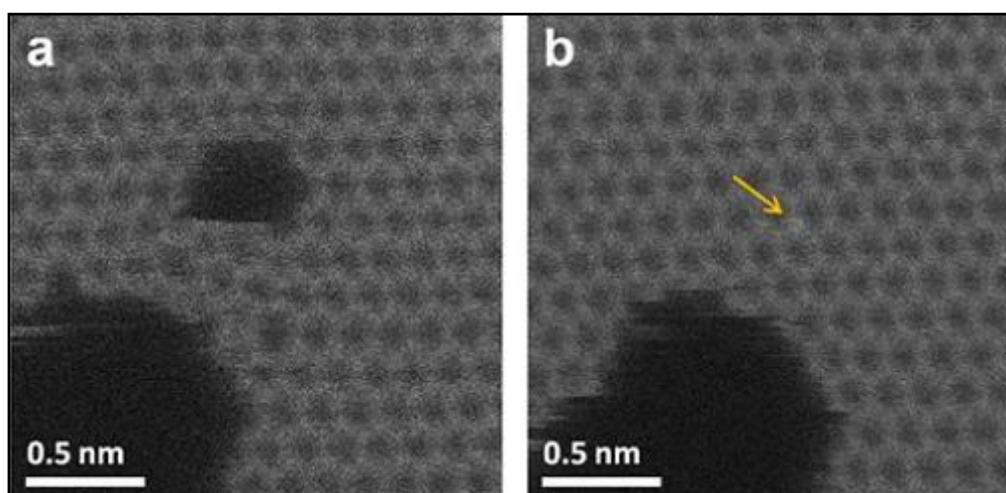
“Estas baterías cargan y descargan de un cien a mil veces más rápido que las baterías normales.”

<sup>10</sup> La mobilitat electrònica és la rapidesa amb la que un electró es mou a través d'un material.

### 3.3 Altres propietats especials

A banda de les propietats mecàniques i elèctriques del grafè, aquest material també presenta un parell de propietats que van més enllà i que el converteixen en el que realment és: un material innovador que revolucionarà el futur.

Una de les característiques més sorprenents que té el grafè és la seva capacitat d'autoreparació, ja que quan una làmina de grafè sofreix dany o es trenca la seva estructura, es genera una espècie de forat que atrau els àtoms de carboni veïns per tal d'aconseguir cobrir els forats. D'aquesta manera els elements residuals de la xarxa de grafè són expulsats i reemplaçats per àtoms de carboni.



**Imatge 7:** En aquestes dues imatges es pot observar com, després de fer un petit forat amb un làser sobre una làmina de grafè (a), aquest s'autoregenera utilitzant els àtoms de carboni propers al forat (b).

Una altra propietat que dóna aquesta excepcionalitat al grafè, és que després d'estudiar el seu comportament davant els organismes vius, s'ha comprovat que els bacteris són incapaços de desenvolupar-se en ell. Aquesta gran característica li obre les portes a un nou àmbit, el de la biomedicina, on d'aquí poc veurem grans canvis amb aquest material.

A més, el grafè és un material capaç d'absorbir residus radioactius.

## 4. Aplicacions del grafè

Gràcies a les seves sorprenents i revolucionàries característiques i propietats, el grafè és un material amb un àmbit d'aplicació gairebé il·limitat, ja que hi ha moltíssimes empreses que estan investigant les seves possibilitats.

Què significa això? Doncs que en un futur pròxim podrem veure en el mercat una gran quantitat de dispositius formats totalment de grafè, o bé de forma parcial amb algunes parts formades d'aquest material.

Per poder-nos fer una idea dels diferents camps d'aplicació del grafè, només cal donar una ullada al nostre voltant i fixar-nos en tot allò que ens envolta: Ordinadors, cotxes, telèfons mòbils i equips de música, són només alguns exemples de coses que trobem freqüentment en la nostra vida quotidiana i en les quals es podria aplicar el grafè.

Les seves propietats li obren les portes a la majoria dels àmbits, com per exemple al món automobilístic, fabricant avions, satèl·lits espacials i automòbils més segurs; o al món de la construcció, fabricant edificis molt més resistents.

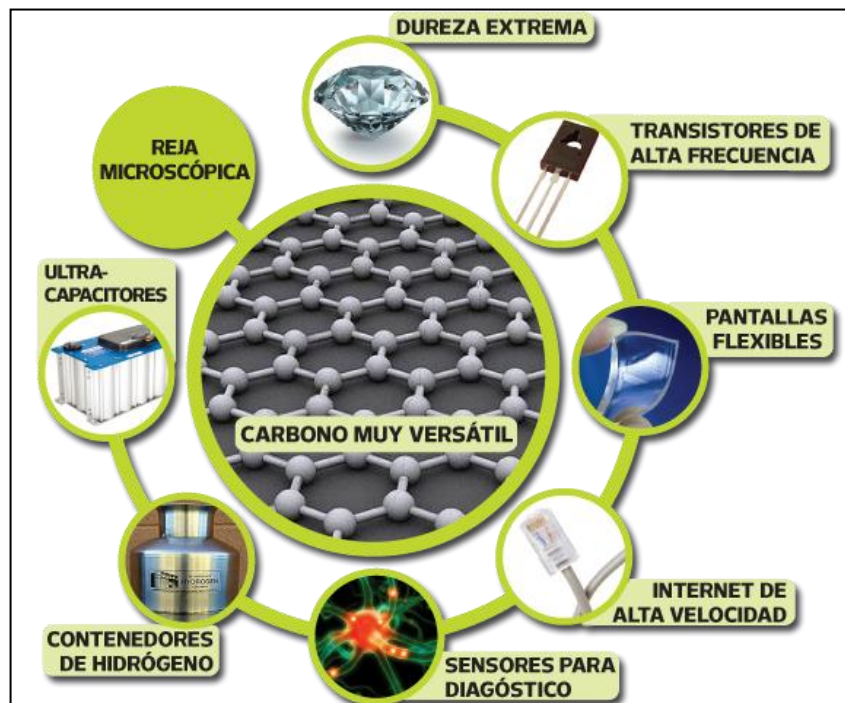
Però on sobretot destaquen les seves aplicacions, són en el camp de l'electrònica, on a través de la seva capacitat per emmagatzemar energia podria dotar a les bateries d'una major durada i un menor temps de càrrega, establir connexions més ràpides, i fins i tot contribuir a millorar el medi ambient substituint a materials contaminants que avui dia ens veiem obligats a utilitzar.

També seria interessant la seva rellevància en l'àmbit de la salut, on les pròtesis de grafè podrien substituir a les actuals, o, on fins i tot es podria aplicar per millorar el tractament d'algunes malalties.

Per aquest motiu no és d'estranyar que es digui que la seva utilitat és pràcticament il·limitada i que les úniques barreres a la seva aplicació són les de la imaginació humana.

Apel·lant a alguns diaris que fan referència a les aplicacions del grafè, trobem:  
Pérez, D. (2014, 19 d'Abril). El material que revolucionará nuestras vidas. *El País*.  
Corbella, J. (2013, 1 de Març). Grafeno para una revolución electrónica. *La Vanguardia*.  
López, J. (2013, 24 de Maig). El grafeno nos cambiará la vida. *ABC*.

En aquest treball, però, de tots els camps d'aplicació del grafè, només em fixaré en els més rellevants i en aquells on el grafè tindrà una major influència, ja que, com he dit anteriorment, el grafè és capaç d'aplicar-se en gairebé qualsevol cosa per millorar-la.



**Imatge 8:** En aquesta imatge podem observar alguns exemples d'aplicació del grafè.

## **4.1 Aplicacions en electrònica**

El camp de l'electrònica és, sens dubte, l'àmbit en el qual el grafè tindrà una major influència gràcies a la seva alta conductivitat i mobilitat dels electrons, així com el seu baix consum.

Alguns exemples d'aplicació serien en la fabricació de microxips o de transistors, dos elements imprescindibles en pràcticament tots els dispositius electrònics. Però aquests són només dos exemples de la gran quantitat d'usos que podria tenir el grafè en l'electrònica, així que anem a observar-ne d'altres:

### **4.1.1 Processadors d'alta freqüència**

Una de les primeres aplicacions públiques del grafè va arribar per part de l'empresa IBM, els enginyers de la qual van aconseguir construir un xip basat en grafè que és 10.000 vegades més ràpid que els fabricats fins avui en dia.

Per aconseguir-ho es va seguir el mateix procés de producció, només que han descobert el mètode per dipositar el grafè sobre el xip sense que aquest es trenqui, reemplaçant així, al silici com a material bàsic per a la seva fabricació.

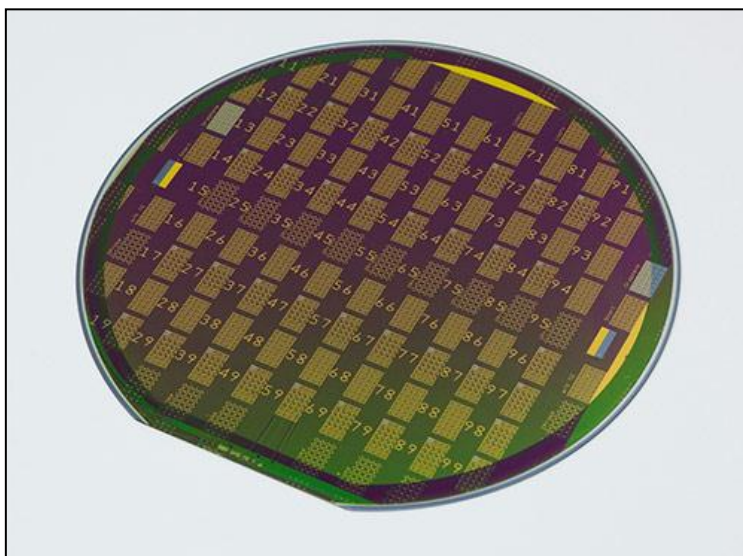
Com el grafè és un material que consumeix menys energia que el silici en realitzar les mateixes tasques, aquest ajudarà a solucionar un dels problemes als quals s'enfronten els processadors dels ordinadors: la dissipació de la calor.

Perquè com més energia gasta una CPU, GPU o qualsevol classe de processador, més calor generarà i es farà més inestable d'utilitzar fins que el material ja no resisteixi.

I en aquest aspecte és on entra en joc la freqüència a la qual funciona un processador. A major freqüència, major serà la despesa energètica i, per tant, la generació de calor.

En teoria, un processador de silici actual pot arribar fins als 40 GHz de freqüència, però si reemplacem el silici pel grafè a l'hora de crear els transistors que donen vida a una CPU, es podria arribar fins als 1.000 GHz de freqüència, la qual cosa representa una millora respecte a la realitat actual, ja que estaríem parlant d'uns valors 25 vegades superiors als del silici, però amb un consum d'energia molt inferior.

La construcció d'un circuit integrat funcional de grafè per part de científics del Politecnico di Milano y la Universidad de Illinois sembla confirmar que seguim avançant en aquests productes electrònics.



**Imatge 9:** Samsung, una empresa puntera en electrònica, afirma que són capaços de crear processadors de grafè que arriben als 300 GHz.



## 4.1.2 Bateries i supercondensadors

En primer lloc, cal diferenciar una bateria d'un supercondensador o supercapacitador, els quals són tipus de condensadors més lleugers que les bateries convencionals, tenen molta més capacitat, no contaminen, es poden recarregar més d'un milió de vegades, i transfereixen l'energia en un instant. Aquests els podem trobar en molts mecanismes electrònics que utilitzem diàriament, com per exemple en els ordinadors.

Potser un dels descobriments més emocionants del grafè, és el relacionat amb el camp de les bateries, on avui en dia la tecnologia permet que els dispositius funcionin durant poques hores fins a requerir una càrrega elèctrica que pot fer-los funcionar unes altres hores, degradant així l'experiència d'ús en telèfons mòbils, tablets i ordinadors portàtils.

Però s'està desenvolupant una tecnologia que utilitza grafè i mostra dues propietats que revolucionaran la indústria de les bateries: deu vegades més capacitat d'emmagatzematge d'energia i una reducció de deu vegades en el temps de càrrega per a la mateixa.

Gràcies a aquestes característiques que ofereix el grafè, els científics de la Universitat de Northwestern (Estats Units) han aconseguit fabricar una bateria que dura una setmana i que es carrega en tan sols 15 minuts.

Això significa que el més probable és que en un futur les bateries actuals de liti siguin substituïdes per unes de molt més ecològiques i eficients, dissenyades a partir de les propietats que ofereix el grafè.

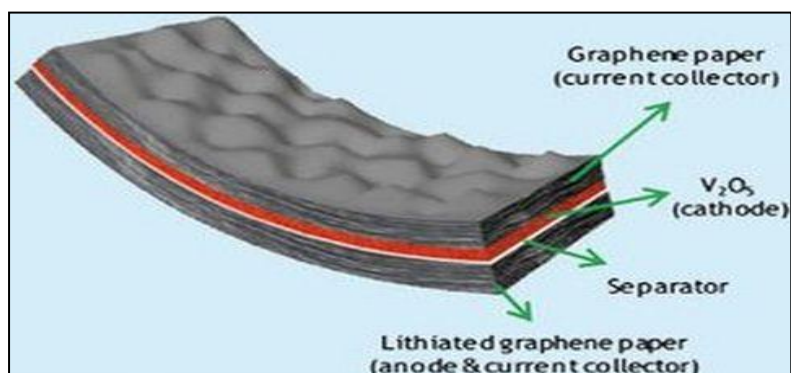
Per altra banda, a més de les línies de recerca en noves bateries, també hi ha diverses línies de recerca en nous supercondensadors, sent els més prometedors aquells formats de grafè com a alternativa de futur per a dispositius electrònics i, per descomptat, per a vehicles elèctrics.

Amb el grafè es podrien fabricar supercondensadors que tindrien molta més capacitat que els actuals, que transferirien l'electricitat acumulada d'una forma rapidíssima, i que no serien tan contaminants a l'hora de ser rebutjats, o bé no serien tan delicats de reciclar com les bateries actuals.

A més, es mantindrien els avantatges dels condensadors, amb el que tindríem un cotxe elèctric a menor preu que si tingués bateries, podria tenir més autonomia, i sobretot es podria recarregar molt més ràpid, en un o dos minuts.

Els supercapacitadors basats en grafè estan sent desenvolupats pels investigadors d'una companyia nord-americana anomenada Nanotek Instruments, i poden emmagatzemar molta més energia per unitat de massa que les bateries de níquel i liti.

Aquests també podrien ser utilitzats per proporcionar energia a aparells diversos com a telèfons mòbils, càmeres digitals i vehicles elèctrics.



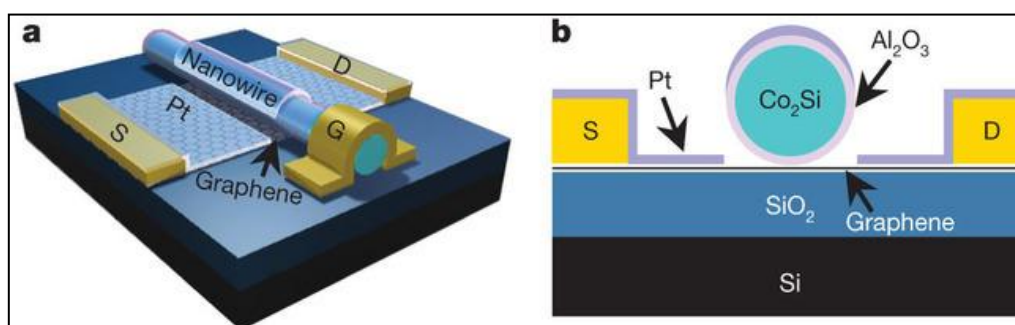
**Imatge 10:** Disseny a partir del qual els científics de la Universitat de Northwestern (Estats Units) van aconseguir fabricar una bateria de grafè que dura una setmana i que es carrega en tan sols 15 minuts.

### 4.1.3 Transistors

Els transistors són uns dispositius electrònics utilitzats per lliurar un senyal de sortida en resposta a un senyal d'entrada. Altra vegada, l'avanç del grafè en aquest sector de l'electrònica l'ha dut a terme la gegant nord-americana IBM. Aquesta ha anunciat que ha donat un nou pas en incorporar el grafè a l'electrònica moderna, ja que ha desenvolupat un transistor que, encara que està fabricat principalment per silici, utilitza el material procedent del grafit per millorar les seves propietats.

Segons la companyia, la gran innovació d'aquesta nova tecnologia és que permet integrar tots dos materials –silici i carboni– en un únic xip, sense canviar massa els processos industrials convencionals. En aquest cas, han desenvolupat un circuit que converteix un senyal de radiofreqüència analògica en digital.

Però les possibilitats no s'acaben aquí, ja que els transistors de grafè no solament són ràpids, sinó molt sòlids. A més, els dispositius segueixen funcionant fins i tot després de mullar-se en aigua, i són prou flexibles per plegar-se. "A mesura que fas que l'electrònica sigui més prima, les propietats mecàniques són cada vegada millors", assegura Ali Javey, científic de materials de la Universitat de Califòrnia. "I el grafè és el material més prim que pots aconseguir".



**Imatge 11:** Esquema d'un possible transistor fabricat amb parts de grafè.

## **4.2 Aplicacions en informàtica**

El camp de l'electrònica és l'àmbit en el qual el grafè ha causat més sensació revolucionària i d'innovació gràcies a la possibilitat de crear pantalles flexibles transparents i tàctils. Aquestes han despertat l'interès de gairebé tots els mitjans de comunicació, i han sigut el canal principal a partir del qual les persones han sentit a parlar del grafè.

Però a més de les pantalles flexibles transparents, el grafè també és capaç de transformar la indústria electrònica en altres dispositius, ja que permetrà el desenvolupament d'ordinadors molt més ràpids i amb un menor consum elèctric que els actuals de silici. A més, s'estima que un disc dur d'aquest compost, de la mateixa grandària que un dels empleats actualment, podria emmagatzemar fins a mil vegades més informació.

A més, estudis recents confirmen que el grafè també podria ser utilitzat per crear cables de fibra òptica més ràpids gràcies a la gran mobilitat que aquest té dels electrons. Sense més contemplacions, observem alguns exemples:

### **4.2.1 Pantalles tàctils flexibles i corbes**

La principal virtut del grafè és la possibilitat de crear pantalles flexibles que es podrien guardar en qualsevol lloc sense ocupar espai.

A més, el grafè és un material molt ecològic, ja que els seus costos de fabricació són més barats que els utilitzats avui en dia, i per tant es consumirà menys energia i recursos a l'hora de produir aquestes pantalles.

Al ser capaç de conduir els electrons de molt bona forma, gairebé sense escalfar-se en el procés, investigadors de la Universitat de Texas i de la Universitat de Corea del Sud van descobrir que una làmina de grafè podia utilitzar-se en el desenvolupament de pantalles tàctils, aprofitant el fet que una làmina de grafè pot ser totalment transparent, ideal per a col·locar-hi a sobre un panell de píxels.

A més, aquesta fina làmina de grafè sensible a la conductivitat elèctrica i al tacte dels nostres dits, podia ser flexible, fet que ha comportat la creació de pantalles tàctils flexibles, que s'estan desenvolupant juntament amb la col·laboració de la tecnologia OLED<sup>11</sup> flexible.

Alguns científics es mostren escèptics davant la introducció de les pantalles corbes al mercat, però el cert és que el desenvolupament d'aquestes durant els últims dos anys ha possibilitat l'arribada de tot tipus de dispositius corbs, com el Samsung Galaxy Round i el LG G Flex, sent aquest últim, a més, flexible. Però les pantalles corbes no només han arribat al mercat dels smartphones, sinó que també trobem alguns exemples de televisors, com el LG OLED.



**Imatge 12:** Avui en dia, gràcies al desenvolupament del grafè en el camp de l'electrònica, podem veure els primers televisors corbs al mercat.

---

<sup>11</sup> La tecnologia OLED (Organic Light-Emitting Diode), estudia el comportament dels díodes LED disposats en forma de pel·lícula que reaccionen a una determinada estimulació elèctrica, generant y emetent llum per sí mateixos.

Segons sembla, les empreses punteres en el desenvolupament de pantalles corbes i flexibles són les multinacionals Samsung i LG, que lluiten per aconseguir pantalles cada vegada més primes i flexibles.

Recentment, la companyia sud-coreana líder en tecnologia de consum, ha afirmat que ha trobat la “clau” per sintetitzar el grafè i possibilitar així la seva utilització per a la comercialització de dispositius que ho incorporin a gran escala. Això es tradueix, en primer lloc, en què s'obre així la possibilitat de produir en massa tot tipus de dispositius flexibles, com una tableta que Samsung podria haver ensenyat només a alguns socis importants durant el MWC (Mobile World Congress) 2014 a Barcelona.

Els últims progressos en aquests productes han sigut la fabricació de prototips de pantalles totalment flexibles que utilitzen la tecnologia OLED per reproduir imatges de gran qualitat sense que aquestes es distorsionin al ser doblegat el dispositiu.

En qualsevol cas, gràcies al descobriment i desenvolupament del grafè, la societat actual està experimentant canvis revolucionaris i innovadors en el sector de la informàtica que haguessin sigut totalment impensables uns anys enrere.



**Imatge 13:** Els últims descobriments del grafè en l'àmbit de la informàtica ens han obert les portes a un nou món de pantalles flexibles de dimensions cada vegada més primes.

## 4.2.2 Cables d'alta velocitat

Investigadors de la Universitat de Cambridge van aconseguir que el grafè fos capaç de captar una gran quantitat de llum, la qual cosa es pot utilitzar en la creació de cables de fibra òptica molt més ràpids, ja que es beneficien d'una altra de les propietats d'aquest material: la seva sorprenent mobilitat dels electrons.

El problema era que el grafè per sí mateix absorbeix poca llum, aproximadament només el 3%, deixant escapar la resta sense que contribueixi a l'energia elèctrica. Però els investigadors de Manchester juntament amb els de Cambridge van aconseguir solucionar aquest problema mitjançant la combinació del grafè amb unes diminutes estructures metàl·liques anomenades plasmòniques. Gràcies a elles, el grafè ha augmentat el seu rendiment a l'hora de captar llum de forma considerable i sense afectar a la seva gran velocitat a l'hora de transportar informació.

Així, mitjançant la combinació del grafè amb estructures plasmòniques, es creu que es podria transportar informació centenars de vegades més ràpid que els actuals, la qual cosa podria influir en l'àrea de les telecomunicacions augmentant la capacitat i la rapidesa d'Internet, de la telefonia mòbil i en definitiva, de totes les comunicacions que es duen a terme sobre el nostre planeta.



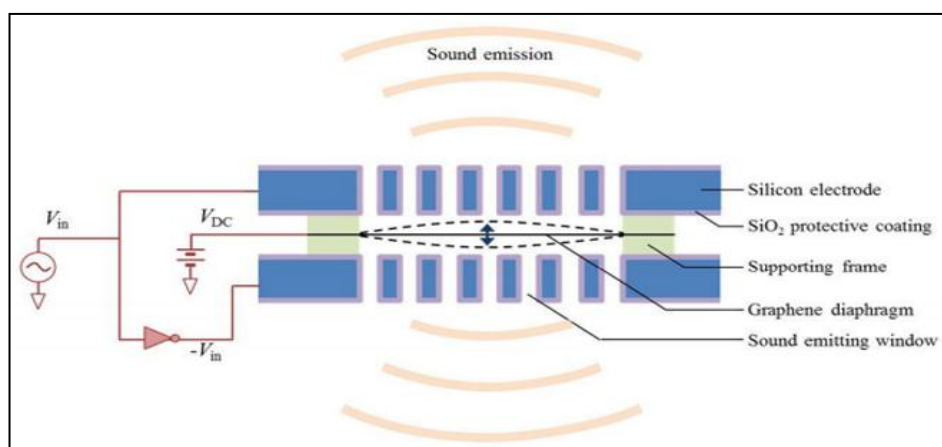
**Imatge 14:** La combinació del grafè amb nanoestructures metàl·liques obre les portes al desenvolupament del Internet d'alta velocitat.

### 4.2.3 Auriculars d'alta qualitat

Per primera vegada també s'ha utilitzat el grafè per crear uns auriculars. Només són un prototip, però de moment el resultat obtingut en potència i so és espectacular.

Per fer-nos una idea, amb una simple làmina de grafè sense cap modificació han aconseguit obtenir una freqüència de resposta de so comparable a uns auriculars Sennheiser, considerats dels millors del mercat. I això que només és el principi de la investigació.

La idea pot semblar molt simple, però els resultats són d'allò més sorprenents. Els responsables del projecte són un grup d'investigadors de la Universitat de Califòrnia, els quals van partir d'un diafragma de grafè de tan sols 7 mil·límetres de diàmetre i de 30 nanòmetres de grossor. A cada costat d'aquesta capa tan fina i lleugera van situar dos elèctrodes de diòxid de silici, la qual cosa va permetre al grafè produir i conduir el so.



**Imatge 15:** Esquema a partir del qual Qin Zhou y Alex Zettl, científics de la Universitat de Califòrnia, van crear uns auriculars amb un diafragma de grafè rodejat de dos elèctrodes per crear un camp magnètic a partir del qual el grafè vibra i produeix so.



El secret d'aquests auriculars està en la increïble duresa del grafè, que és 200 vegades més resistent que l'acer. Una làmina de 30 nanòmetres de gruix de qualsevol altre material s'hauria trencat a l'hora d'intentar transmetre el so.

A més, com el diafragma de grafè utilitza una làmina que és molt prima, la grandària i pes del producte es veu molt reduït, la qual cosa podria donar lloc a la creació d'audiòfons d'alta qualitat que al mateix temps siguin molt portàtils.

Aquest dispositiu comercial es tracta d'una forma simple d'aplicar les propietats del grafè per millorar uns objectes tan senzills com els auriculars. Els científics afirmen que només es tracta d'un experiment inicial, però que podria donar lloc a una petita revolució en l'electrònica de consum.

#### **4.2.4 Càmeres digitals més sensibles**

Una càmera de fotos actual està formada, bàsicament, per un lent pel qual passa la llum i que després arriba a un sensor, captant-la i transformant-la en informació digital. El que investigadors de la Nanyang Technological University de Singapur van aconseguir, va ser crear un sensor fet de grafè, augmentant la sensibilitat del dispositiu unes 1.000 vegades en relació a les tecnologies actuals basades en CMOS o CCD<sup>12</sup>.

Estem parlant d'una millora escandalosament alta pel que són els sensors utilitzats en càmeres professionals i compactes, permetent millors captures en condicions amb poca llum, i en general, per a qualsevol ocasió.

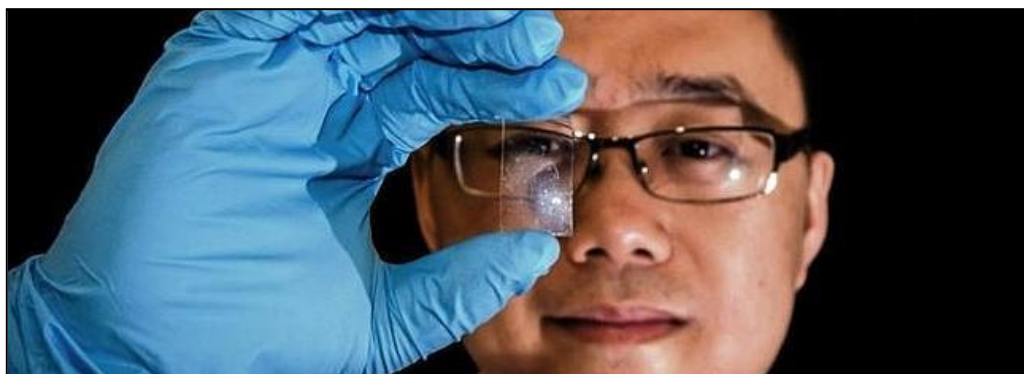
---

<sup>12</sup> CMOS i CCD són dues tecnologies que fabriquen circuits integrats per a la majoria de dispositius electrònics i informàtics actuals.

A més, aquests nous sensors de grafè consumeixen deu vegades menys energia i són cinc vegades més econòmics de produir en massa que els convencionals, per la qual cosa més que interessant, la seva arribada al mercat se'ns fa gairebé necessària.

Aquest sensor de grafè es creu que és el primer sensor capaç de detectar llum d'ampli espectre, és a dir, aquella que va del visible fins a l'infraroig mitjà, amb alta foto-resposta i sensibilitat. Això significa que és adequat per al seu ús en tot tipus de càmeres, incloent-hi les d'infrarojos, radars de tràfic o imatges de satèl·lit.

Si aquesta tecnologia s'arribés a democratitzar i popularitzar en el mercat i els fabricants l'adoptessin per a la fabricació de sensors fotogràfics, també seria possible tenir càmeres més lleugeres, amb major durada de bateria i amb una qualitat d'imatge superior quant a nitidesa.



**Imatge 16:** El professor Wang Qijie, de l'Escola d'Enginyeria Elèctrica i Electrònica de la NTU, afirma que s'ha demostrat que és possible crear sensors fotogràfic barats, sensibles i flexibles, fets solament de grafè. La finalitat del seu descobriment, segons el professor, és que la indústria adopti la tecnologia i que el cost de fabricació dels sensors d'imatge caigui, de manera que amb el temps les càmeres siguin més barates i amb major durada que les actuals.

### 4.3 Aplicacions en el tractament d'aigües

Amb els problemes associats al canvi climàtic i la sequera que avança cada vegada més ràpid, necessitem noves fonts d'aigua potable. Una de les iniciatives que s'estudia des de fa anys és la possibilitat de tractar l'aigua de mar per convertir-la en potable, però aquests projectes són molt cars i complexos.

No obstant això, els científics de l'Institut de Tecnologia de Massachusetts, han sigut capaços de crear filtres basats en grafè monoporós d'1,8 nanòmetres per substituir les membranes utilitzades en el procés d'osmosis invertida<sup>13</sup> per a la dessalinització de l'aigua.

L'equip dirigit per Jeffrey Grossman i David Cohen-Tanugi es va proposar controlar les propietats del material a escala atòmica, produint una làmina de grafè perforada amb forats de dimensions molt precises.

A més, els investigadors també van agregar altres elements al material, aconseguint que les vores d'aquestes minúscules obertures interactuessin químicament amb les molècules d'aigua, repel·lint-les o atraient-les.

Segons els científics que van dur a terme aquest projecte, el nou sistema basat en el grafè és capaç de purificar l'aigua centenars de vegades més ràpid que les tècniques actuals, amb la mateixa pressió que aquestes.

O, alternativament, el sistema pot funcionar amb una velocitat similar a la dels sistemes actuals, encara que amb pressions més baixes que les d'aquests i amb un cost econòmic molt més reduït.

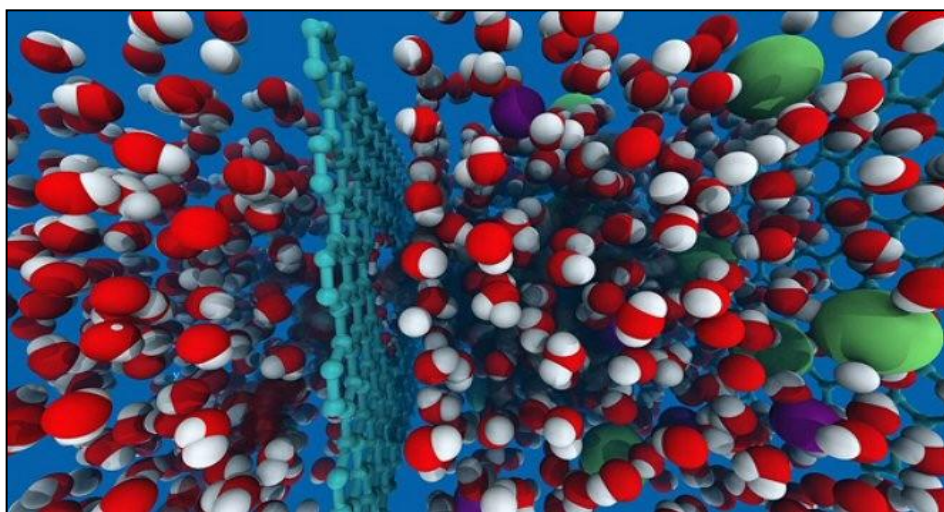
---

<sup>13</sup> La osmosis invertida és el procés que s'utilitza per purificar l'aigua en el qual s'introdueix pressió en un fluid mentre se'l fa passar per una membrana on queden atrapades les parts sòlides impures.

Per tant, a causa de la seva peculiar estructura d'alta densitat permeable a l'aigua, es preveu que es podrà realitzar aquesta tasca en un temps molt inferior i amb un cost molt més baix.

Fins ara, els resultats obtinguts només han estat comprovats per simulació computacional i faltaria realitzar proves reals, però els investigadors diuen que el seu treball demostra que la gran permeabilitat del grafè podria derivar en noves tecnologies de dessalinització energèticament més eficients i de menors dimensions.

El que és cert, és que el grafè presenta una llarga llista d'innovacions sorprenents en l'àmbit del tractament de les aigües.



**Imatge 17:** Imatge realitzada per l'investigador de Massachusetts, David Cohen-Tanugi, en la qual es pot observar la simulació computacional que van dur a terme amb un filtre de grafè. La interacció de les molècules d'aigua salada amb la membrana de grafè és excel·lent, ja que tan sols deixa passar les partícules d'aigua i destrueix les altres partícules impures al impactar amb el material.

## 4.4 Aplicacions en medicina i biomedicina

Les aplicacions del grafè en aquest àmbit són les que desperten més interès dins la comunitat científica, i en les que més s'està treballant. Estudis recents confirmen que el grafè podrà utilitzar-se per millorar els tractaments contra el càncer, fent que aquests siguin menys nocius pel pacient.

El tractament d'aquesta malaltia té com a objectiu, de manera general, la destrucció de les cèl·lules malaltes intentant afectar el menys possibles a les cèl·lules sanes.

És per aquest motiu que la constant recerca d'un mètode que permeti dirigir el tractament contra una zona concreta de l'organisme sense afectar a les altres podria trobar la resposta en el grafè, ja que s'està desenvolupant un mètode basat en injectar al pacient partícules de grafè modificades químicament perquè s'adhereixin a les cèl·lules cancerígenes.

D'aquesta manera s'aconseguiria augmentar la càrrega de medicació que arriba a les cèl·lules afectades i, aprofitant la propietat que té aquest material per absorbir la llum infraroja, les irradiacions amb les quals es tracta el tumor actuarien directament sobre les cèl·lules danyades marcades prèviament amb grafè, sense afectar a la resta del cos.

A més, científics sud-coreans també han dut a terme la mateixa idea per a tractar càncers de pell utilitzant el grafè, però en aquest cas s'ha fet servir la seva forma oxidada. Aquests investigadors han introduït nanopartícules terapèutiques d'òxid de grafè i àcid hialurònic a través de la pell, en tumors de melanoma en ratolins.

Tot seguit, en aplicar la radiació sobre els tumors amb llum infraroja, les partícules adherides d'òxid de grafè generen una quantitat de calor suficient per destruir les cèl·lules canceroses.

Segons els científics de la Universitat de Pohang de Ciència i Tecnologia, en aplicar-se a nivell local en lloc de per via intravenosa, aquest tractament causaria menys efectes secundaris.

Aquests dos mètodes es tracten d'una àrea de recerca que encara s'està investigant, però que millorarien notablement l'eficiència dels tractaments radiològics.

D'altra banda, gràcies a les seves propietats antimicrobianes, científics xinesos van desenvolupar un grafè en forma de fulla de paper què té les seves aplicacions en l'àmbit sanitari com, per exemple, en el recobriment per a embenatges i apòsits, facilitant la cura de ferides i disminuint la possibilitat que es produeixin infeccions.



**Imatge 18:** Els apòsits, o més vulgarment coneguts com a tiretes, fabricats de grafè, podrien significar una petita revolució en el sector de la medicina, ja que aquests serien més lleugers, més econòmics, i amb millor aïllament sanitari gràcies a les propietats antibacterianes del grafè.

Un altre ús que podria tenir el grafè en l'àmbit de la salut, seria el nou sensor que han desenvolupat els científics de la Universitat de Michigan.

Aquest sensor format de grafè és presentat com un biomarcador corporal a tots els nivells, ja que pot mesurar tant la pressió arterial com els nivells de sucre en la sang, passant per mesurar l'òxid nítric en l'oxigen, el nivell del qual és un indicador d'anèmia o malalties pulmonars. Segons el professor Zhaohui Zong, creu que encara no han estat explorades totes les aplicacions possibles d'aquest nou sensor basat en el grafè.

Un altre avanç sense precedents que està tenint el grafè gràcies a la seva biocompatibilitat, és la seva aplicació en el camp de l'oftalmologia, on, segons els físics de la Universitat Tècnica de Munich, els implants de retina basats en grafè converteixen la llum incident en impulsos elèctrics que es transmeten al cervell a través del nervi òptic, transformant el senyal en imatges.

El grafè, gràcies a les seves característiques mecàniques, químiques i electròniques, és el candidat ideal per suplir altres materials en implants oculars, podent servir com a pròtesis òptiques a aquelles persones que mantenen els seus nervis òptics intactes.

Altra vegada gràcies a la seva biocompatibilitat, s'ha demostrat que el grafè combinat amb el cautxú pot ser el material idoni per a la creació de músculs artificials, atès que l'estimulació elèctrica sobre aquest nou compost fa possible controlar la tensió i la relaxació del mateix, fent d'ell un múscul biònic eficient.

A més d'implants de músculs artificials, l'adaptabilitat d'aquest material, unida a la seva resistència i estabilitat, permetrien que també fos utilitzat en la creació d'implants per a teixits neuronals que substitueixin als teixits orgànics danyats.

Les cèl·lules nervioses funcionen bàsicament per mitjà d'un corrent elèctric. És per aquest motiu que les propietats esmentades anteriorment del grafè el converteixen un candidat essencial per a la creació d'aquest tipus d'implants, podent ser un reemplaçament per a circuits nerviosos lesionats.

Com si les aplicacions esmentades anteriorment no fossin prou sorprenents, com si d'una pel·lícula de ciència-ficció es tractés, ja es parla fins i tot de la creació d'implants que realitzin revisions mèdiques periòdiques de l'estat de l'ADN i de l'organisme en general.

L'àmbit de la medicina i de la biomedicina seran, sense cap dubte, el camp on aquest material revolucionari aportarà millors innovacions pel que fa el continu desenvolupament de noves solucions i tractaments que ajudin a millorar l'espècie humana.



**Imatge 19:** Les pròtesis i els músculs artificials formats de grafè serien dues de les grans aplicacions que podria tenir aquest material en l'àmbit de la medicina i la biomedicina.



## 4.5 Aplicacions en seguretat

L'extremada duresa del grafè, unida a la seva capacitat de modelar-se i a la seva lleugeresa, el fan un compost ideal per a ser utilitzat en aquesta indústria.

Armillles antibales, cascos, escuts i multitud d'elements de protecció que s'empren per diversos professionals, passaran a ser molt més lleugers i segurs gràcies al grafè.

I és que la seva gran resistència, capaç de sostenir un automòbil sobre una làmina de grafè sense que es trenqui, el converteix en el material ideal per revolucionar la indústria dels blindatges i de la seguretat personal.

Avui en dia, però, dins d'aquest àmbit només s'han creat prototips d'armilles antibales, ja que el grafè encara es troba en fase d'investigació. Segurament passaran bastants anys fins que apareguin les primeres mostres de grafè incorporat en aquestes indústries.



**Imatge 20:** El professor Kim Seon Jeong, de la Universitat de Hanyang, ha sigut capaç de crear una nova fibra artificial a partir de grafè i carboni que és sis vegades més resistent que una tela d'aranya, i que podria utilitzar-se en una infinitat d'aplicacions tals com les armilles antibales.

## **4.6 Aplicacions en automobilística i en la indústria del motor**

L'aplicació del grafè en el xassís dels vehicles els faria molt més resistents, per la qual cosa el nombre de morts en accidents de circulació anuals es podria reduir dràsticament.

D'altra banda, els cotxes híbrids també es convertirien en una alternativa real en comptes de ser deixats de banda amb una representació minoritària. Bateries de llarga durada amb temps de càrrega mínims, facilitarien que els conductors més poc inclinats a aquests vehicles els veiessin amb altres ulls.

A més, en la indústria del motor i els combustibles, el grafè faria que tots dos fossin més ecològics i eficients. Actualment, és de domini públic que el Pentàgon ha invertit una gran quantitat de diners per fomentar el desenvolupament d'un additiu basat en el grafè que millori el rendiment dels avions militars quant a consum i rendiment.

Un altre exemple d'aplicacions actuals del grafè en aquest àmbit el trobem amb l'empresa Carbures, situada a Cadis. Aquesta està especialitzada en la fabricació de peces de materials composts, com la fibra de carboni, per a diferents sectors com l'automoció, el sector ferroviari o l'aeronàutica.

Recentment, ha incorporat el grafè dins dels materials que fabrica, i aquesta inclusió ha suposat una millora substancial, ja que aprofitant les propietats conductores del grafè, el fabricant pot canviar les peces que fins ara eren metàl·liques per peces de materials composts, sense haver de modificar l'ordre en les actuals cadenes de producció.

“L'objectiu del projecte és millorar la seguretat de les aeronaus, fent-les més lleugeres i eficients, menys contaminants i molt més segures”, afirma Rafael Contreras, conseller delegat de la companyia.

## 4.7 Aplicacions en esports

Dins l'àmbit dels esports, la marca GrapheneTech ha aconseguit desenvolupar la primera cera elaborada amb grafè per a esports d'hivern que ja s'està començant a comercialitzar.

Aquesta cera, descoberta per l'empresa d'Eficiència Energètica Aplicada (EEA), millora el lliscament en la neu, es pot utilitzar amb temperatures de neu entre zero i menys trenta graus, i és hidròfoba, és a dir, que repel·leix l'aigua.

La cera de grafè s'aplica directament als esquís o a les taules de snow per millorar el seu lliscament, i permet una aplicació més senzilla. A diferència de les ceres existents, principalment formades de grafit o fluor, que disposen d'una àrea superficial d'entre 20 i 40 m<sup>2</sup>/g, la de grafè eleva aquesta àrea entre 300 i 500 m<sup>2</sup>/g.

A més, en la seva composició no hi ha elements contaminants com en el cas de les ceres de fluor que s'utilitzen en l'alta competició.



**Imatge 21:** La cera de grafè, comercialitzada per la marca GrapheneTech, pot aportar petites millores en els esports d'hivern com l'esquí o el snow.

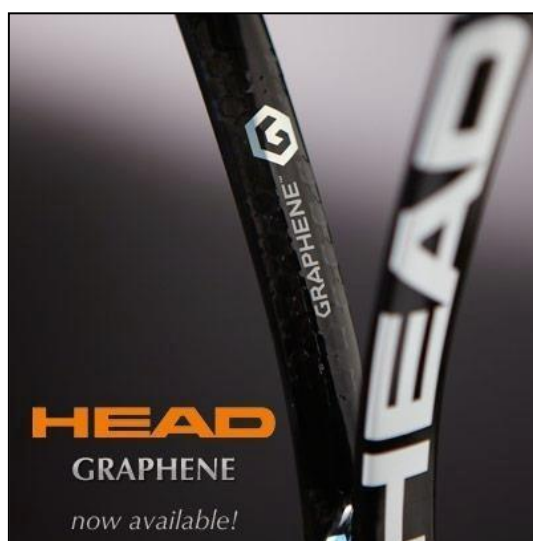
Però les aplicacions del grafè en aquest àmbit no només es limiten amb els esports d'hivern.

El descobriment d'aquest material no va passar desapercebut per als investigadors de la marca de tennis Head, que han aconseguit aplicar-lo al tennis en un temps rècord per aconseguir una de les majors evolucions que es recorden en la fabricació de raquetes.

Fins avui en dia, el pes d'una raqueta de tennis es distribuïa de forma desigual entre el cap i el mànec, segons fos l'objectiu d'aconseguir més potència o més control, però no es parava atenció al cor de la raqueta. Reduir el pes del cor comportava un greu risc, ja que aquesta zona és la que suporta l'impacte i la torsió del colpeig.

Però la resistència i la versatilitat del grafè han permès que per fi es pugui reduir el pes del cor, distribuïnt-ho al capdavant i al mànec.

Això ha permès guanyar inèrcia i potència en el colpeig, realitzant un esforç menor en l'impacte. A més, el revestiment del marc de les raquetes no necessitaria un grafè molt pur, per la qual cosa la seva fabricació és més fàcil i barata sense que això impliqui perdre qualitat.



**Imatge 22:** Head ha sigut la primera marca en comercialitzar raquetes de tennis creades amb grafè.

## 4.8 Aplicacions en el tractament de residus radioactius

Les partícules radioactives dissoltes en aigua poden ser molt perilloses per a la salut humana, i capturar-les és difícil. Però investigadors de la universitat de Rice (EE.UU) i de la universitat de Lomonosov (Rússia), han descobert que l'òxid de grafè pot fer-ho millor i més ràpid que qualsevol dels mètodes actuals.

L'equip de químics que van descobrir-ho, afirmen que els "flocs" microscòpics d'òxid de grafè d'un àtom de gruix s'enllacen ràpidament amb els residus nuclears que resulten tant, de l'activitat humana, com de la radiació natural, condensant-los en estat sòlid.

En el seu experiment, aquests van mesclar l'òxid de grafè amb deixalles nuclears simulades que contenen urani, plutoni i substàncies com el sodi i el calci que poden afectar negativament a la seva adsorció<sup>14</sup>. Tot i així, l'òxid de grafè va demostrar ser molt millor que les argiles de bentonita i el carbó activat granular usats normalment per a la neteja nuclear.

L'òxid de grafè introduït en les mostres tòxiques simulades es va coagular en qüestió de minuts, agrupant ràpidament les pitjors substàncies tòxiques. A més, el procés va funcionar bé en una àmplia gamma de valors del pH.

Aquest descobriment podria ser de gran ajuda per netejar llocs on existeixen grans piscines de material radioactiu, com la central nuclear de Fukushima Daiichi, que va resultar greument danyada pel terratrèmol i el tsunami del 2011.

Per netejar-los, només caldria aplicar òxid de grafè sobre la zona infectada i se n'obtindria un material sòlid que ocuparia un volum d'espai molt més reduït.

---

<sup>14</sup> L'adsorció és el procés en el qual els àtoms, ions o molècules queden atrapats en la superfície d'un material.

Poder capturar els residus nuclears no els fa menys radioactius, només els torna més fàcils de ser manipulats. És per això que l'ús del grafè en aquest camp ofereix molts avantatges, ja que es custodien i distribueixen millor uns pocs bidons de material radioactiu que una immensa piscina d'aigua radioactiva.



**Imatge 23:** Experiment que van dur a terme els químics de les Universitats de Rice i Lomonosov, en el qual van partir d'una solució d'òxid de grafè (tub de l'esquerra), que van aplicar a una mostra de residus nuclears. L'òxid de grafè es va coagular en pocs minuts (tub de la dreta), agrupant els residus radioactius i convertint-los en unes partícules molt més fàcils de transportar i distribuir.

## 5. Comercialització del grafè

Des que es va lliurar el Premi Nobel pels experiments sobre el grafè l'any 2010, la inversió per a la recerca d'aquest material ha sigut enorme, de fet, les grans multinacionals estan utilitzant els seus laboratoris de Recerca, Desenvolupament i innovació (R+D+i) per a aquest ús.

En l'actualitat, hi ha empreses lligades al R+D+i que es dediquen a buscar mètodes de producció més eficaços pel grafè i per la seva comercialització. Entre els principals clients d'aquestes empreses dedicades a la millora de la producció del grafè, trobem les grans companyies en el camp de la telecomunicació i de l'electrònica, com per exemple Samsung, Nokia o LG.

Tot i que acostumats a ocupar els últims vagons de la innovació, resulta difícil creure que Espanya se situï al capdavant del mercat global de producció del material del segle XXI, el grafè.

Però la veritat és que Espanya ja lidera la producció europea amb diverses empreses capdavanteres. No obstant això, el mercat encara és petit, ja que el grafè tan sols va moure 9 milions de dòlars en el 2012.

Segons sembla, les multinacionals productores d'articles massius de consum encara no s'han decidit a fer el salt definitiu en el mercat del grafè. Es mantenen, de moment, en prudents posicions experimentals, encara que amb contínues promeses de comercialització.

Mentrestant, les empreses espanyoles productores de grafè defensen els seus respectius models de negoci i busquen la forma de ser cada vegada més competitives mentre esperen que les multinacionals facin un pas endavant.

## **5.1 Empreses espanyoles productores de grafè**

Dins l'àmbit espanyol, hi ha quatre empreses punteres en la producció de grafè que competeixen a escala internacional. Estem parlant de Graphenea (San Sebastian), Graphenano (Alacant), Avanzare (Logronyo) i GRAnPH Nanotech (Burgos).

Aquestes quatre empreses espanyoles ocupen posicions capdavanteres als mercats internacionals i tot i que encara que no es pot invertir directament en elles, els experts asseguren un gran futur per totes elles, ja que són referència en tots els fòrums internacionals dedicats a aquest material.

En el camp experimental, l'empresa basca Graphenea Nanomaterials lidera amb gran diferència sobre les altres, competint al més alt nivell amb una empresa coreana i una altra nord-americana. Mentre que en el camp de la producció l'empresa Graphenano té el lideratge mundial.

### **5.1.1 Graphenea Nanomaterials**

Empresa amb seu a Sant Sebastià que fabrica làmines de grafè d'alta qualitat, liderant la producció europea i competint per la mundial amb dues empreses, però enfocada principalment a la recerca i desenvolupament del grafè.

Aquesta empresa proveeix grafè tant a centres de recerca com a empreses com Nokia, Philips, Nissan o Cannon, tot i que de moment, la demanda és a nivell experimental. Encara que esperen que a partir de 2016 es traslladi a nivell comercial.



A més, representants de l'empresa afirmen que disposen d'una línia pilot per produir 50.000 cm<sup>2</sup> de làmines de grafè a l'any a partir de 2016.

També informen que actualment els preus del grafè són cars perquè el volum de venda és petit, però que realment ja es troba en disposició de ser més barat que el silici si parlem de vendes a gran escala.

### **5.1.2 Graphenano**

Empresa líder mundial en la fabricació de grafè amb un 90% de capital espanyol i un 10% de capital alemany. La seva seu es troba a Alacant i el centre de producció a Ciudad Real, tot i que acaba d'obrir-ne una altre a Alemanya.

Aquesta empresa té diverses formes de producció, ja que fabrica làmines de grafè, cables de grafè, grafè en pols i grafè en peces tridimensionals. A més, la seva producció és tal, que va facturar més de 300 milions d'Euros el passat 2013.

El potencial d'aquesta empresa és el seu sistema de producció basat en el diòxid de carboni i no en el grafit, la qual cosa li dóna una gran independència sobre les altres empreses. Companyies com a BMW o Toyota ja han contactat amb ella per incloure el grafè en els seus vehicles.

Gràcies el treball del seu equip, poden presumir d'haver aconseguit desenvolupar un sistema de fabricació de grafè que els permet produir quilòmetres de làmines i cables, tones de grafè en pols i grafè en peces tridimensionals, cosa exclusiva que ningú més al món ha aconseguit.

### **5.1.3 Avanzare**

Empresa amb seu a Logronyo, la línia de producció de la qual és el grafè en pols purament industrial, el qual sol mesclar-se amb altres materials per obtenir propietats concretes, com la resistència al foc, i que és utilitzat en múltiples aplicacions i usos industrials com les tintes semiconductores per a usos electrònics.

Aquest fet converteix aquesta empresa en única a Espanya, ja que la seva producció es ven a altres empreses per a la creació de productes comercialitzables.

A més, aquesta empresa es va convertir en la primera productora mundial de grafè en pols a finals de 2012, quan va superar a la nord-americana XG Sciences. El model de negoci és molt segur, i al món no existeixen més de 40 empreses que competeixin amb ella.

### **5.1.4 GRAnPH Nanotech**

Empresa amb seu en Burgos, la producció de grafè de la qual, més modesta en volum, està enfocada a la recerca i a l'experimentació pura i dura, amb resultats també valuosos i interessants.

Aquesta empresa proveeix grafè a laboratoris i altres organitzacions que aprofundeixen en la recerca, tot i que també el proporciona a companyies elèctriques, energètiques i especialitzades en electrònica.

A més, com pertany al Grupo Antolin (una empresa multinacional), disposa d'oficines comercials a Corea del Sud i a Japó.

## 5.2 Formes de comercialització del grafè

Actualment, gràcies a la diversitat d'especialització de les empreses, trobem diferents formes de comercialitzar el grafè: en forma de làmines i cables, en pols, de forma líquida (òxid de grafè), en peces tridimensionals, o bé aplicat sobre altres materials.

D'aquesta manera, les diferents empreses que utilitzen grafè en els seus productes poden escollir de quina forma el volen en funció de quin ús vulguin donar-li.

Per exemple, les làmines de grafè són el grafè d'alta puresa i el que reuneix les millors propietats. És per aquest motiu que s'utilitza per fabricar elèctrodes de bateries, pantalles tàctils, cèl·lules solars, electrònica digital i analògica d'alta freqüència o compostos avançats per aeronàutica.

Mentre que el grafè en pols, el qual té una puresa inferior a les làmines, s'utilitza en aplicacions que requereixen un material més barat, com per exemple compostos per a la construcció. Tot i que el més freqüent és barrejar-lo amb altres materials.



**Imatge 24:** Actualment, les empreses han sigut capaces de produir grafè comercial a gran escala en sis formes diferents: 1) Làmines de grafè. 2) Cables de grafè. 3) Peces tridimensionals de grafè. 4) Grafè en pols. 5) Òxid de grafè. 6) Grafè aplicat sobre altres materials.

### 5.3 Valor econòmic del grafè

Pocs anys després del seu descobriment, com a conseqüència que encara no hi havia cap mètode ideal per obtenir el grafè que s'imposés sobre els altres, aquest tenia un preu bastant car, el gram del qual costava 100 dòlars, el doble del preu de l'or.

Això és degut al fet que aquest material ha sigut descobert fa relativament pocs anys; però els avanços en les recerques estan permetent que es transformi en un producte més comú i barat.

Avui en dia, segons un representant de l'empresa espanyola Graphenea, el preu del grafè segueix sent car perquè el volum de venda és petit, però realment aquest ja està en condicions de ser més barat que el silici si parlem de grans quantitats, ja que el seu preu està per sota dels 50 cèntims d'euro el  $\text{cm}^2$ .

A llarg termini, fins i tot es podria arribar als 3 cèntims per  $\text{cm}^2$ , però per aconseguir-ho es necessiten compromisos, ja que cal invertir en grafè perquè això passi. Per a comandes individuals, però, el preu oscil·la ara mateix entre els 10 i els 50 euros el  $\text{cm}^2$ .

En els últims anys, el preu del grafè ja ha caigut a la meitat. Com ja s'ha dit anteriorment, el preu de les làmines de grafè depèn de la seva grandària i de les propietats, i es dóna en relació a  $1 \text{ cm}^2$ . Però per fer-nos una idea, una làmina estàndard de grafè costa entre 300 i 1.000 euros, una xifra molt assequible per al consum de recerca però elevada per a altres usos.

És per aquest motiu que científics i investigadors del grafè esperen que el preu segueixi descendint progressivament i que d'aquí a uns cinc anys, aquest ja sigui més barat que el silici, que costa al voltant de 50 euros. A mesura que el mercat vagi avançant, el preu anirà baixant, ja que pràcticament costa el mateix produir una làmina que produir-ne 100.000.

## **6. Actualitat**

Per últim, m'agradaria parlar sobre l'actualitat del grafè, sobre quins projectes s'estan duent a terme amb aquest material, i sobre la gran quantitat d'informació enganyosa que els mitjans de comunicació transmeten a la societat.

### **6.1 Informació enganyosa sobre el grafè**

Actualment, quan els mitjans de comunicació, o fins i tot els mateixos científics, parlen de la ciència i la divulgació científica, cal que vagin amb peus de plom, ja que cap dels dos volen vendre una cosa que no és.

Però en moltes ocasions, la recerca d'un titular innovador que capti l'atenció del lector, dóna lloc a articles i notícies basades en informació que no és certa, sinó que és enganyosa.

Amb el descobriment del grafè, un material quasi tan resistent com el diamant, flexible, transparent, conductor, i destinat a ser el material del segle XXI, els mitjans de comunicació van traspasar els límits de la realitat i van fer el possible per ser els que portaven la iniciativa d'aquest material, encara que això impliqués crear titulars totalment desfasats d'allò que realment és el grafè.

Com a resultat, avui en dia en la xarxa circula gran quantitat d'informació enganyosa o modificada sobre aquest material.

Un clar exemple el trobem al YouTube, on s'estan popularitzant una sèrie de vídeos que ens "mostren" les aplicacions que té el grafè. Però el que realment apareix en aquests vídeos són usos inventats que podria tenir el grafè, però que es troben totalment apartats de la realitat d'avui en dia. És més, les aplicacions que mostren no crec que siguin possibles ni en els pròxims 50 anys.

Com a conseqüència d'aquesta mescla d'informació real amb informació fictícia del grafè, hi ha certs àmbits d'aplicació d'aquest material en els quals és difícil saber amb certesa si realment es produiran innovacions com les que es mostren.

Això m'ha dificultat la meua recerca en els camps d'aplicació del grafè, ja que constantment em trobava amb petits matisos inventats que introduïen els mitjans de comunicació per tal de fer la notícia més atractiva.



**Imatge 25:** Actualment, grans quantitats de vídeos falsos i notícies amb informació enganyosa circulen per la xarxa d'internet, creant confusió sobre les veritables aplicacions del grafè.

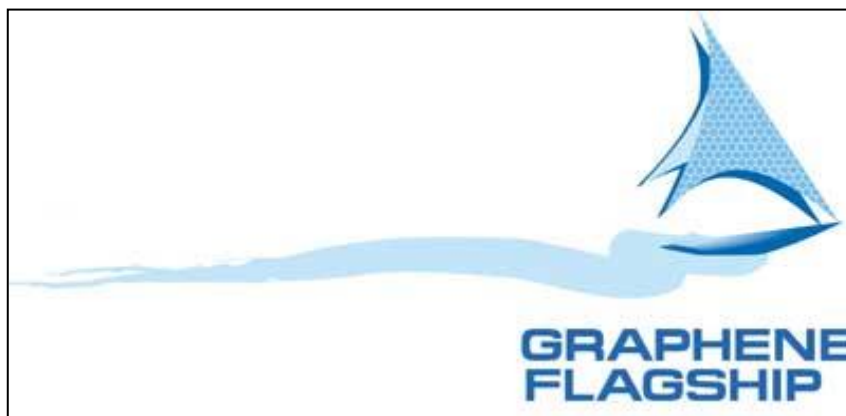
## 6.2 Graphene Flagship

No obstant això, el que és realment cert, és la nova iniciativa que Europa ha impulsat i finançat sobre el grafè, que porta el nom de Graphene Flagship (Bandera del grafè).

I és que Europa no vol perdre els trens de la recerca i el desenvolupament (R+D) de temes revolucionaris i innovadors d'interès estratègic. Per aquest motiu va impulsar la iniciativa “Flagship”, un projecte que finança els millors temes de recerca durant deu anys (2010-2020) amb un pressupost aproximat que ronda els 1.000M € per a cada projecte seleccionat.

Fins fa poc, només hi havia un projecte inclòs dins d'aquesta iniciativa, el Human Brain Project, el qual es centra en la investigació i el desenvolupament del cervell humà. Però recentment s'ha incorporat un segon projecte en la iniciativa europea, el Graphene Flagship, el qual es centrarà en la investigació i recerca d'aquest material tan innovador anomenat grafè.

El fet que només hi hagi dos projectes seleccionats dins de la major iniciativa de R+D europea, i que un d'ells sigui el del grafè, ens ajuda a comprendre les dimensions de la gran revolució que aquest material pot causar en aquest segle XXI.



**Imatge 26:** Graphene Flagship és un dels dos projectes més emblemàtics que ha impulsat la Unió Europea.

Així doncs, el projecte Graphene Flagship va arrencar amb un pressupost de 74 milions d'euros que s'aniran incrementant amb els diferents projectes addicionals. Aquest està integrat per prop de 75 grups de recerca d'empreses i universitats de 17 països europeus diferents coordinats per la Universitat de Chalmers (Suècia), i els quals col·laboren juntament per col·locar Europa al capdavant de la tecnologia del grafè.

Aquesta és la primera vegada que a Europa es constitueix un consorci de tal magnitud, seguint una estratègia proactiva dels grups de recerca i de les indústries amb interessos comuns. No obstant això, la construcció i el disseny d'aquest projecte ha requerit més d'un any de treball previ, també finançat per la UE.

Però els resultats estan sent excel·lents, ja que l'excel·lència científica i tecnològica del projecte es reflecteix en la composició del Consell Assessor, que inclou a quatre científics amb premi Nobel i a socis industrials clau com Airbus, Nokia o Texas Instruments.

Aquest treball conjunt tindrà, sens dubte, un impacte social i econòmic molt significatiu en gairebé tots els sectors industrials, entre els quals destaquen la generació i l'emmagatzematge d'energia, les tecnologies verdes, les tecnologies de la informació i de les comunicacions, i els materials compostos.

A més, en el projecte hi participen actors d'alt nivell en el mapa de R+D+I a Europa, l'experiència dels quals avarca coneixements com la ciència de materials (incloent-hi els nanocompostos), l'electrònica (flexible i d'alta freqüència), la salut i el medi ambient, l'energia, l'espintrònica i l'optoelectrònica.

Els participants espanyols del sector públic acadèmic inclouen: el Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC), l'Institut de Ciències Fotòniques (ICF), l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2), la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), i la Universitat de Castella la Manxa (UCM).

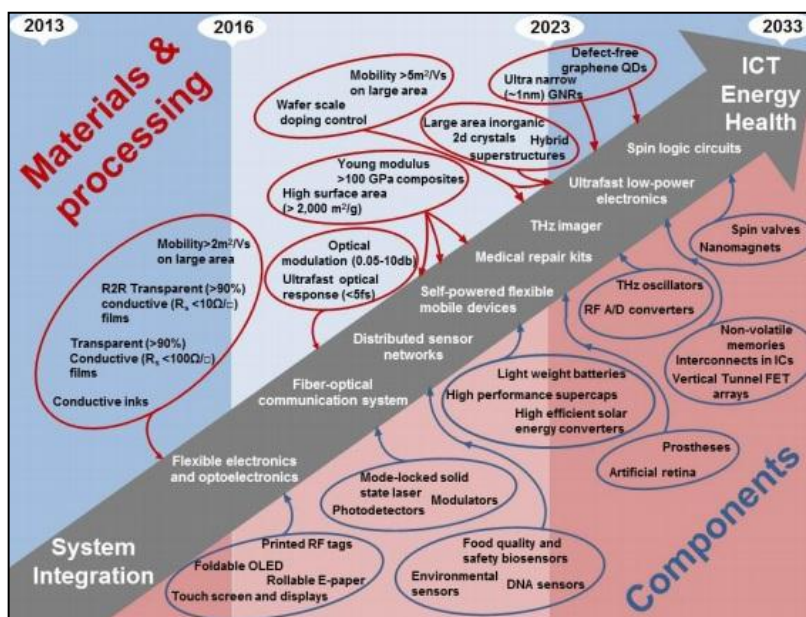


El pressupost total per als participants espanyols suposa un 12% del total del projecte, percentatge que es troba molt per sobre de la contribució espanyola al PIB europeu. La magnitud d'aquestes dades reflecteix, per tant, l'èxit d'una mobilització conjunta, iniciada fa dos anys, per part dels agents implicats: grups acadèmics d'alt nivell i responsables de les institucions de recerca, grups empresarials amb gran interès en la recerca i desenvolupament, el Ministeri de Ciència i Innovació i el Ministeri d'Economia i Competitivitat, i el Centre per al Desenvolupament Industrial (CDTI).

Com a conclusió, es pot deduir fàcilment que la comunitat espanyola està ben posicionada per afrontar la segona fase del projecte Flagship, que disposarà d'un finançament molt superior.

Però per participar amb el mateix èxit en la segona fase, és imprescindible el continu esforç dels sectors acadèmic i industrial, així com de l'administració pública.

Actualment, totes les organitzacions implicades en el projecte Graphene Flagship treballen intensament en el desenvolupament del full de ruta del grafè.



**Imatge 27:** Full de ruta d'investigació del grafè en el projecte europeu Graphene Flagship.

## 7. Part Pràctica

En la part pràctica o d'investigació d'aquest treball de recerca em vaig proposar sintetitzar grafè utilitzant un mètode físic i un altre de químic a partir d'unes mostres de grafit. Una vegada obtingut el grafè vaig intentar comprovar la seva conductivitat elèctrica després d'aplicar-lo sobre un substrat.

Per aconseguir-ho, en primer lloc vaig analitzar els diferents mètodes que es coneixen fins avui en dia per produir grafè. Tot seguit vaig triar aquells que podien ser assequibles sense utilitzar material específic de laboratori, i a partir d'aquests mètodes, vaig realitzar la meva part pràctica.

El primer procés que vaig utilitzar va ser el físic, el qual es basa en l'exfoliació mecànica del grafit per tal de comprovar que el grafè realment s'obté en separar les diverses capes que formen el mineral, és a dir, el vaig utilitzar com a mètode de demostració.

Després vaig intentar utilitzar el mètode químic de síntesi del grafè, més complex que l'anterior. Aquest es basava en l'obtenció del material mitjançant l'oxidació del grafit i posteriorment la seva reducció a grafè.

Però la forma quotidiana d'obtenir l'òxid de grafit era massa complicada per dur-la a terme a casa, fins i tot no era possible de realitzar-la ni en el laboratori de l'escola. És per aquest motiu que vaig adoptar una alternativa, la formació d'òxid de grafit mitjançant la dissolució del grafit en peròxid d'hidrogen. Aquesta segona via em va donar millors resultats, ja que vaig aconseguir sintetitzar l'òxid de grafit.

El problema va aparèixer a l'hora de reduir aquest òxid per obtenir el grafè, ja que l'únic procés que ho permet utilitza un netejador ultrasònic, del qual no disposava.

Així que no vaig poder completar el mètode químic de síntesis del grafè més simple, ja que em vaig estancar en la meitat del procés.

Més endavant vaig visitar l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2), on em vaig posar en contacte amb el Dr. Pedro Gómez Romero, investigador principal del grup de Novel-Energy Oriented Materials i expert en la tecnologia del grafè, el qual em va ajudar moltíssim amb el treball.

Li vaig explicar que vaig arribar a crear òxid de grafit, però que no el vaig aconseguir reduir a grafè, ja que no tenia els instruments necessaris. Així que molt amablement, em va facilitar unes mostres de grafè, concretament òxid de grafè i grafè en pols, per tal que pogués acabar la meua part pràctica i comprovar les propietats elèctriques que té el material depenen d'en quin estat es trobi.

Finalment, gràcies a les mostres que em va proveir el Dr. Gómez, vaig poder comprovar en primera persona la conductivitat d'aquest material tan revolucionari i innovador.

## 7.1 Mètode físic - Exfoliació mecànica del grafit

Com ja he dit anteriorment, en la primera etapa de la part pràctica vaig decidir utilitzar un mètode físic molt simple per obtenir grafè. Estic parlant de l'exfoliació mecànica del grafit, la qual em va servir per demostrar que el grafè realment es troba en cada una de les capes que formen aquest mineral.

A molts ens pot semblar difícil d'imaginar com és el grafè, ja que estem parlant d'escala nanomètrica, és per aquest motiu que em va ajudar molt una comparació que em va explicar el Dr. Pedro Gómez.

Aquest em va dir que m'imaginés una mostra de grafit sòlid i que intentés esclafar-la i comprimir-la fins que quedés reduïda a pols. Quan ja no pogués trencar-la en trossos més petits, em va proposar que agafés un gra d'aquest grafit tan diminut i que me l'imagines com un llibre de cinc mil pàgines. Doncs cada una d'aquestes pàgines és el grafè, que apilat sobre ell mateix acaba formant el grafit.

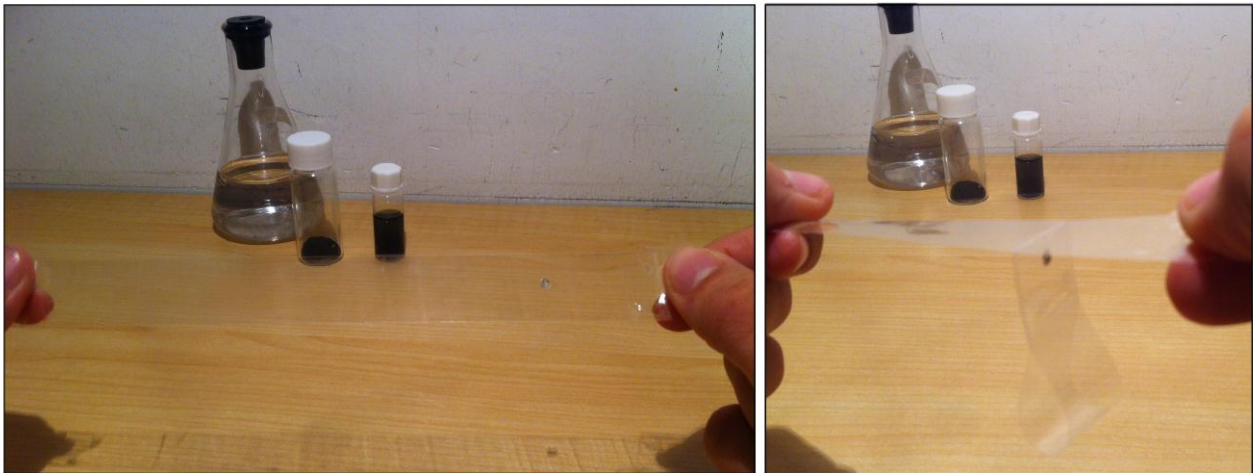
A partir d'aquesta idea parteix l'exfoliació mecànica del grafit, la qual tracta d'anar separant les diferents capes que formen aquest material fins a obtenir-ne una de monoatòmica, és a dir, de tan sols un àtom de gruix. Aquesta última capa que aconseguiríem seria el grafè, que es pot comprovar observant-la en un microscopi òptic.

Com ja vaig explicar en els mètodes d'obtenció del grafè, el de l'exfoliació mecànica és un procés que seria molt difícil de produir a gran escala, però és el mètode per excel·lència a l'hora de fer una demostració sobre el grafè.

De fet, es tracta del mètode a partir del qual Andréy Gueim y Konstantín Novosiólov van partir a l'hora de fer els seus experiments amb grafè que els van concedir el premi Nobel de Física el 2010.

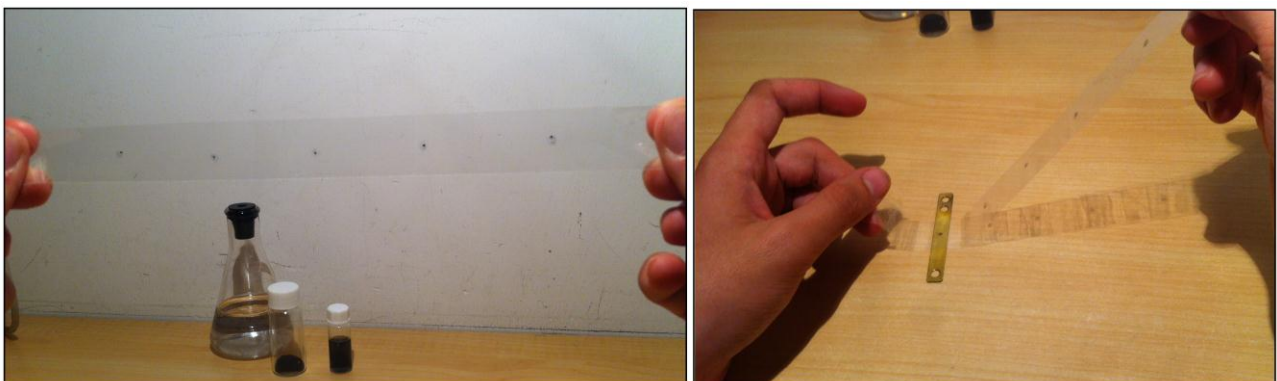
Centrant-nos en la pràctica que vaig realitzar, vaig utilitzar una tira de cinta adhesiva sobre la qual vaig dipositar una petita mostra de grafit en un extrem. Tot seguit vaig doblegar la cinta per tal d'arrencar les diverses capes del grafit utilitzat, i vaig repetir aquest procés deu vegades al llarg de tota la cinta.

A més, vaig fer servir 3 cintes adhesives diferents per veure amb quina obtenia millors resultats.



**Imatge 28:** Procés d'exfoliació mecànica d'una petita mostra de grafit en el qual vaig doblegar una cinta adhesiva per tal d'anar arrencant capes del mineral i obtenir finalment una capa de grafè.

A continuació vaig enganxar l'última mostra de grafit, que devia tenir pocs àtoms d'espessor, sobre un substrat de silici per tal de poder-la transportar més còmodament fins al microscopi.



**Imatge 29:** Després de realitzar el mateix procés diverses vegades, vaig enganxar la última mostra de grafit sobre el substrat.

Però només disposava d'un microscopi convencional per analitzar la mostra de grafit, per la qual no vaig poder observar-hi el grafè, ja que és necessari un microscopi òptic de gran potència per aconseguir veure les partícules a escala nanomètrica.

Més endavant, aprofitant la visita que vaig fer al ICN2, els vaig demanar si podia analitzar la mostra de grafit que havia obtingut per exfoliació mecànica, ja que ells disposaven d'un microscopi adequat en els seus laboratoris.

El Dr. Gómez no va posar-hi cap inconvenient i finalment vaig aconseguir analitzar el grafit a escala nanomètrica, on vam poder apreciar alguns trossos de grafè. Desafortunadament no vaig poder fer cap fotografia de la mostra en el microscopi, però per fer-vos una idea, vam observar una cosa molt semblant a la imatge següent:



**Imatge 30:** Mostra de grafit exfoliada mecànicament analitzada en un microscopi òptic, on es poden distingir petites làmines de grafè.

Gràcies a aquest procés físic que es basa en arrencar a poc a poc les diferents capes que formen el grafit fins a obtenir-ne una d'un àtom d'espessor, vaig poder apreciar la diminuta magnitud que té el grafè i com de difícil ha de ser poder sintetitzar-lo a gran escala i amb processos que permetin el control de les seves propietats, com per exemple el nombre de capes que el formin.

## **7.2 Mètode Químic – Oxidació i reducció del grafit**

En la segona etapa de la part pràctica, vaig intentar sintetitzar grafè utilitzant un mètode químic més complex, basat en l'oxidació del grafit i en la seva posterior reducció a grafè.

Per realitzar aquest experiment volia seguir una pràctica de laboratori que vaig trobar a internet, en la qual s'explica el mètode i les quantitats necessàries per aconseguir-lo. L'experiment dividia el procés en dues parts:

### **Preparació de l'Òxid de Grafit (GO) pel Mètode de Hummers**

Es realitza una mescla en un got de 250 ml, en constant agitació i a bany fred de: 2 g de grafit en pols, 1 g de  $\text{NaNO}_3$ , 46 ml d' $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Posteriorment se li afegeix lentament 6 g de  $\text{KMnO}_4$ , i el sistema s'escalfa a  $35^\circ\text{C}$  durant 30 minuts; després s'afegeixen lentament 92 ml d' $\text{H}_2\text{O}$  al sistema i s'agita durant 15 minuts. Finalment s'addiciona una solució de 80 ml d' $\text{H}_2\text{O}_2$  amb la finalitat de reduir el  $\text{KMnO}_4$  residual.

### **Reducció tèrmica de l'Òxid de Grafit (GO) - Pas del grafit a grafè**

S'utilitzen 20 mg de GO obtingut anteriorment, i es dispersen en 6 ml d' $\text{H}_2\text{O}$  per ultrasons. Després s'agreguen 30 ml de DMAc (Dimetilacetamida) i es soniquen durant uns minuts. Per a la reducció tèrmica, s'utilitzen 36 ml de la suspensió de GO en DMAc/ $\text{H}_2\text{O}$  i se sotmet a 800W en un Microones. Després es filtra la suspensió i es renta 3 vegades amb etanol.

Finalment s'agrega la pasta obtinguda en 15 ml d' $\text{H}_2\text{O}$  i s'asseca congelant-ho a  $-80^\circ\text{C}$  durant 24 hores. D'aquesta forma s'obté el grafè en forma de pols.

Per a realitzar aquest procés, que és dels més utilitzats avui en dia per obtenir grafè de qualitat, necessitava l'ajuda d'algun professional. Per aquest motiu em vaig posar en contacte amb la professora de química, la Meritxell Mateu.

Ella em va aconsellar i després de mirar-se la pràctica em va dir que l'òxid de grafit no el podríem sintetitzar en el laboratori de l'escola, ja que aquest no disposa dels aparells necessaris per a fer-ho. Com a conseqüència, vaig buscar una alternativa per crear òxid de grafit de menys puresa que utilitzés un mètode més senzill.

El més simple que vaig trobar, em va permetre obtenir un òxid de molt poca puresa, però amb un procés extremadament fàcil. Aquest plantejava el següent:

Mesclar entre 30 i 50 ml de peròxid d'hidrogen ( $H_2O_2$ ) al 35 %, amb un compost de grafit. El que s'aconsegueix en barrejar aquest dos components, és grafit exfoliat en una solució d' $H_2O_2$ . Tot seguit, deixar reposar la mescla durant 10 minuts per obtenir l'òxid de grafit.

Però en aquest procediment també hi havia un problema, que l' $H_2O_2$  al 35 % és difícil d'aconseguir, ja que es troba en una concentració molt elevada que és perillosa per a la salut. Per això en comptes d'utilitzar-lo al 35 %, vaig fer-ne servir un que es trobava al 10%.



**Imatge 31:** En l'obtenció de l'òxid de grafit vaig partir d'uns 5 g de grafit en pols i de 45 ml d' $H_2O_2$  al 10%.



Tot seguit vaig mesclar els dos components, però l'haver utilitzat un peròxid d'hidrogen de menor concentració, el grafit va tardar més temps a oxidar-se.



**Imatge 32:** La mescla del grafit en pols amb el peròxid d'hidrogen va tardar més de l'esperat a causa de la concentració del  $H_2O_2$  que vaig utilitzar.

Una vegada abocat el grafit, vaig tenir que remenar durant força estona per tal de que ambdós components acabessin de mesclar-se correctament. Al cap d'uns 20 minuts ja s'havien mesclat i finalment vaig aconseguir l'òxid de grafit.



**Imatge 33:** 45 ml d'òxid de grafit.

Així que vaig tractar de seguir amb la pràctica de l'obtenció del grafè. Una vegada aconseguit l'òxid només calia reduir-lo per tal d'aconseguir el grafè, però va sorgir un últim problema que em va paraitzar la investigació.

Per poder reduir l'òxid de grafít es necessitava un netejador ultrasònic per aplicar ultrasons a la mescla, i el laboratori de l'escola tampoc disposava d'aquest aparell.

Com ja tenia la pràctica quasi acabada, ja que disposava dels altres materials, com la dimetilamina, vaig decidir buscar si algun laboratori proper em podia deixar fer servir un netejador ultrasònic. Però, o bé no estaven interessats en prestar un aparell de valor com aquest a un estudiant per fer un experiment, o bé el laboratori estava situat massa lluny.

Així que no vaig poder acabar la part pràctica de la utilització d'un mètode químic per sintetitzar el grafè, ja que em vaig quedar bloquejat quasi al final del procediment.

Per sort, durant la meua visita al ICN2 de Barcelona, el Dr. Pedro Gómez Romero em va facilitar unes mostres de grafè per tal que pogués acabar la part pràctica i comprovar les propietats elèctriques d'aquest material en primera persona.

### 7.3 Comprovació de la conductivitat elèctrica

Gràcies a les mostres que em va facilitar l'investigador del ICN2, les quals contenen òxid de grafè i grafè en pols, vaig aconseguir observar les propietats elèctriques d'aquest material tan revolucionari i innovador, ja que són les que més em fascinen.



**Imatge 34:** Les dues mostres que em va proporcionar el Dr. Gómez contenen òxid de grafè (esquerra), que tot i està oxidat conserva la seva transparència, i grafè en pols (dreta).

A l'hora de comprovar les propietats del grafè, en primer lloc vaig voler disposar de les dues mostres en el mateix estat, és a dir, que totes dues estiguessin en estat líquid, ja que és més fàcil d'aplicar-les sobre qualsevol material.

A més, d'aquesta manera també vaig poder observar quina de les dues mostres presentava millors propietats. Per una banda tenia òxid de grafè sintetitzat directament a partir de grafit, mentre que per altra banda tenia una dissolució aquosa de grafè en pols amb etanol.

Així que el primer procediment va ser intentar dissoldre 10 g de grafè en pols amb 25 ml d'etanol. Però com resultava bastant difícil mesclar aquests dos components, vaig augmentar la quantitat d'etanol fins als 75 ml.

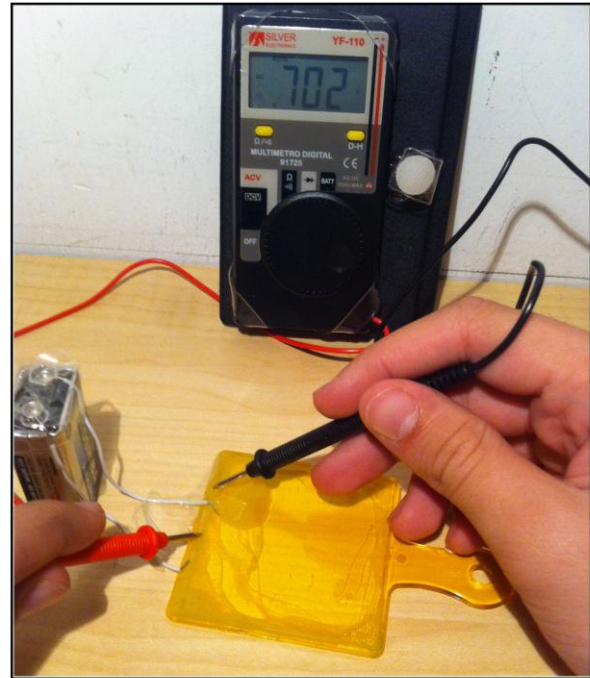
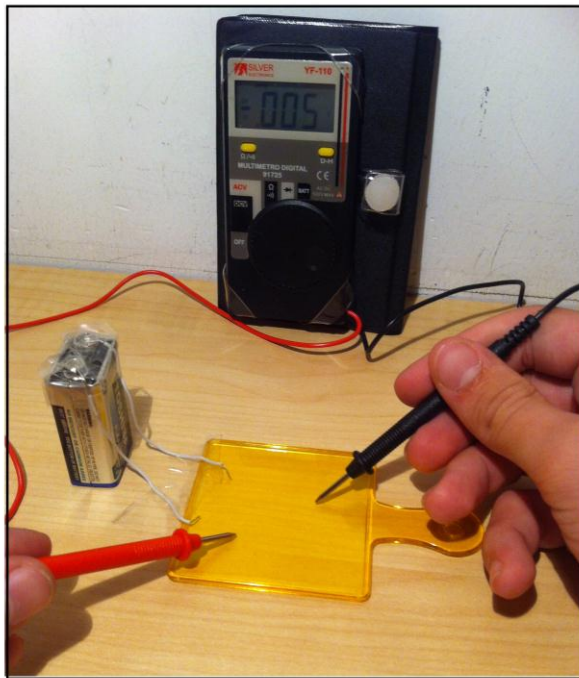


**Imatge 35:** El grafè en pols va resultar bastant difícil de dissoldre en l'etanol, ja que tot i remenar la mescla durant 15 minuts, el grafè no va acabar de dissoldre's del tot.

Una vegada realitzat aquest pas, ja disposava de les dues mostres en estat líquid, per tant, era hora d'aplicar-les sobre algun material per observar les seves propietats elèctriques.

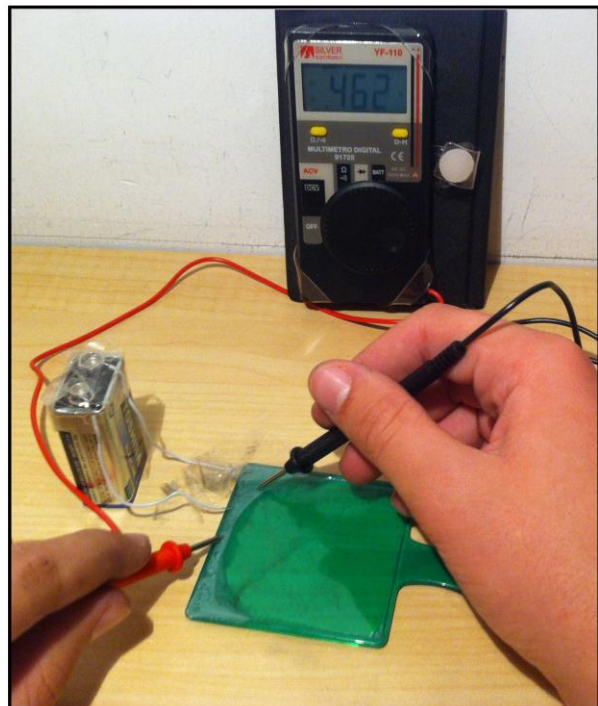
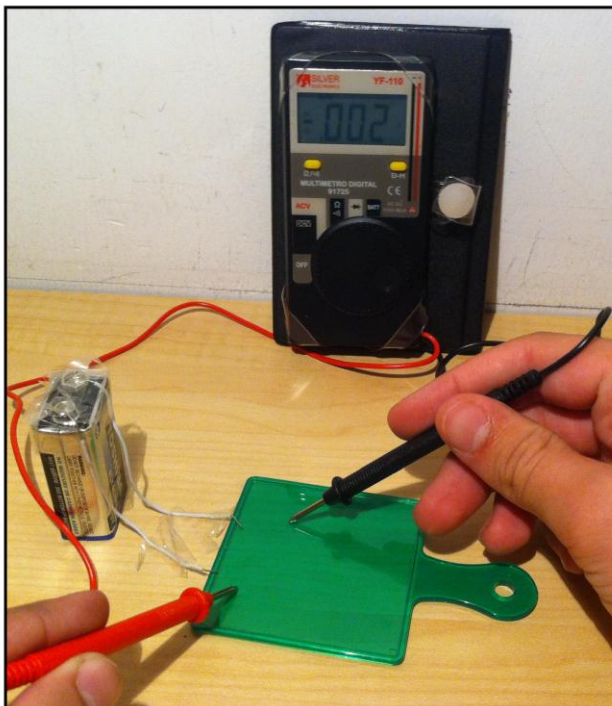
Per realitzar la pràctica, vaig utilitzar dues làmines de vidre sobre les quals vaig aplicar les dues mostres per tal de comprovar la conductivitat del grafè amb el següent experiment:

Vaig connectar una pila de 9V a cada làmina de vidre, i amb l'ajuda d'un aparell per mesurar el corrent elèctric, vaig observar si aquestes conduïen el corrent. Òbviament el resultat va ser negatiu, però en aplicar les diferents mostres de grafè sobre cada làmina i escalfar-les per tal que quedessin impregnades, aquestes van passar a conduir l'electricitat amb uns valors força interessants, ja que en un cas eren quasi iguals als del voltatge de la pila.



**Imatge 36:** En aquesta imatge es pot observar com la làmina de vidre per si sola no és capaç de conduir l'electricitat (esquerra), però si hi apliquem una dissolució d'òxid de grafè, aquesta passa a conduir-la amb uns valors molt pròxims als del voltatge de la pila de 9V (dreta).

Tot seguit, vaig realitzar l'experiment amb l'altra làmina, però aquesta vegada utilitzant la dissolució de grafè en pols amb l'etanol.



**Imatge 37:** Com en la imatge anterior, també podem observar com una làmina de vidre per si sola no és capaç de conduir l'electricitat (esquerra), però en aplicar-hi el grafè en pols diluït en etanol aquesta també es capaç de conduir l'electricitat (dreta).

Després de realitzar els dos experiments i comparar els resultats, vaig extreure les meves pròpies conclusions:

En el primer cas, en el qual vaig utilitzar òxid de grafè, vaig poder observar que era difícil fer que aquest es quedés impregnat sobre la làmina de vidre mitjançant l'aplicació constant de calor. En canvi, a l'hora de conduir l'electricitat, aquest va mostrar una conductivitat elèctrica molt més superior que l'altre cas, assolint valors fins a 7,6V, molt propers al voltatge de la pila, que era de 9V.

Mentre que en el segon cas, en el qual vaig utilitzar la dissolució del grafè en pols amb etanol, va resultar molt més fàcil d'aconseguir que aquest es quedés impregnat sobre la superfície de vidre mitjançant l'aplicació constant de calor. Opino que això es va produir a causa que hi havia una gran quantitat d'etanol respecte al grafè, ja que aquest es va evaporar molt més ràpid que la primera mostra.

No obstant això, a l'hora de comprovar la seva conductivitat, els valors que va assolir aquesta mostra estaven molt per sota dels obtinguts amb l'òxid de grafè. Això potser es va produir perquè, com he dit anteriorment, en la dissolució hi predominava l'etanol i no el grafè, per tant les seves propietats van quedar una mica contrarestades.

En conclusió, pel que fa la conductivitat elèctrica, segons els experiments que vaig dur a terme amb les dues mostres de grafè, va quedar demostrat que en aquesta propietat l'òxid de grafè es comporta molt millor que la dissolució de grafè en pols amb etanol.

## Conclusions

Gràcies a aquest treball de recerca, he pogut entendre i conèixer un tema que tenia moltes ganes d'investigar, el d'un material que revolucionarà la tecnologia i acabarà convertint-se en l'amfitrió del segle XXI, superant al silici. I és que no m'esperava menys del grafè.

Remuntant-nos als inicis del projecte, vaig començar establint una base teòrica d'aquest material, tenint en compte la seva composició, obtenció, propietats i aplicacions. Tot seguit, després d'haver estat treballant en la part teòrica durant mesos, vaig consolidar tot el que havia après i vaig aplicar-ho en una part pràctica, en la qual vaig utilitzar un mètode químic i un altre de físic per sintetitzar el grafè.

A més, finalment vaig aconseguir comprovar les seves propietats elèctriques mitjançant un experiment realitzat amb mostres d'aquest material, la qual cosa era la finalitat de la meva part d'investigació.

Una vegada finalitzat tant el treball teòric com el pràctic, vaig començar a reflexionar en les conclusions des d'un punt de vista més extern i amb uns coneixements més amplis d'allò que vaig estar investigant i treballant durant tant de temps. I la veritat és que un s'adona de l'evolució que ha realitzat quan mira enrere.

És cert que en ocasions em resultava difícil de començar a treballar, però una vegada em centrava en la investigació del grafè, em resultava molt interessant i les hores em passaven volant.

Aquest ha sigut un dels factors més plaents d'aquest treball, ja que gràcies a que vaig escollir un tema que realment m'agradava, no m'he sentit en cap moment forçat a treballar, sinó que ho feia per satisfer la meva curiositat.

A més, aquest projecte m'ha impulsat a posar-me en contacte amb persones que són realment expertes en el grafè, i m'ha obert les portes a instituts i laboratoris impressionants.

Per exemple, l'entrevista que vaig realitzar al Dr. Pedro Gómez en el seu laboratori del ICN2, em va resultar molt interessant, o si més no, diferent, ja que vaig poder conèixer la manera de pensar d'una persona que fa anys que treballa en el grafè.

Centrant-nos en aquest material, ara puc afirmar que si està creant aquesta revolució tecnològica i està tenint tant d'èxit en els mitjans de comunicació, és perquè les seves propietats són realment espectaculars. Però el grafè té molt pocs anys de vida, ja que va ser descobert farà cosa de tan sols 10 anys, així que encara es troba en fase d'investigació.

Tot i així, la repercussió que està tenint és d'allò més interessant, ja que tot i que gairebé no ha sortit del laboratori, tothom parla de les seves futures aplicacions. Segons el Dr. Gómez, això es produeix ja que és un material avançat, i els diferents materials avançats que han aparegut al llarg de la història, com l'alumini, tots han suposat una gran revolució tecnològica.

Per aquest motiu no ens hem d'estranyar quan afirmen que ens trobem davant d'un gran canvi en l'era dels materials que obre un nou món de possibilitats. Haurem de deixar enrere els pensaments i la concepció que fins ara teníem sobre la tecnologia, ja que la majoria dels experts consideren que el grafè donarà fruit a un gran nombre d'aplicacions innovadores i revolucionaries.

Per tant, si aquesta revolució tecnològica que s'està a punt de produir la complementem amb grans inversions, no tan sols de capital, sinó també de coneixements, es produirà un gran avanç en la humanitat.



I aquí és on ha entrat en joc la Unió Europea, la qual ha finançat el Graphene Flagship. Aquesta iniciativa de magnitud extraordinària serà un factor clau que, sens dubte, contribuirà en ajudar al desenvolupament del grafè.

I és que, actualment, és el material més fort i prim que es coneix. Parlem d'una forma del carboni que pot conduir l'electricitat i la calor millor que qualsevol altra cosa. A més, no només és el material més dur del món, sinó que també és el més mal·leable.

No obstant això, no hi ha cap propietat que per si sola li concedeixi aquesta exclusivitat, sinó que la compatibilitat de les diferents propietats que disposa és el que el converteixen en el que realment és, un material avançat.

Però després de realitzar aquest treball, he pogut observar que per esbrinar-les al màxim, són necessaris grans coneixements i instruments que les puguin dur a terme, ja que no hem d'oblidar que el grafè es tracta d'un material d'un sol àtom de gruix, és a dir, d'unes mides petitíssimes.

En conclusió, confio en què el grafè canviarà radicalment la tecnologia dels pròxims anys, i acabarà arribant a la cima del que aspira a ser gràcies a la combinació de dos factors: l'impuls científic i tecnològic que se li està donant, i les seves magnífiques propietats.

# Annex

---

## **Entrevista**

Entrevista al Dr. Pedro Gómez Romero, investigador principal del grup de Novel-Energy Oriented Materials i científic de l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2) expert en grafè.

**Buenas tardes Pedro, en primer lugar, me gustaría agradecerle su predisposición para ayudarme a resolver algunas cuestiones que tengo sobre el grafeno y dedicarme un tiempo de su apretada agenda.**

**¿Des de su punto de vista, cuál cree que será el método que acabará monopolizando la producción de grafeno?**

En primer lugar, vamos a hablar de los distintos métodos de síntesis del grafeno que existen. Hasta ahora, hay dos grandes tipos: los métodos físicos, y los métodos químicos.

El método químico más utilizado es el método Hammers, que tú conoces, porque lo has usado. Este método parte de grafito, y lo que se hace es añadir no uno, ni dos, sino hasta tres oxidantes muy enérgicos, que son el permanganato potásico, el ácido sulfúrico i el agua oxigenada.

Aquello se convierte en el infierno venusiano en la tierra, y claro, el grafito se deslaminas; supongo que al final ya se rinde y se oxida, la cual cosa facilita que las láminas se separen. Lo que pasa es que ese grafito acaba siendo, más que grafeno, un óxido de grafeno con un número de capas indeterminadas.

En definitiva, lo que obtienes es un material que puedes preparar en grandes cantidades, pero que es muy impuro; incluso aunque reduzcas el óxido de grafeno, este seguirá teniendo mucho oxígeno e impurezas, pero claro, con este método puedes producir grandes cantidades.

En el otro extremo están los métodos físicos, los cuales parten de un gas o vapor, como por ejemplo el método de Chemical Vapor Deposition (CVD). Este método te da lugar a un tipo de grafeno muy puro, pero con este se consiguen pocos  $\text{cm}^2$ . Entonces claro, ¿Dónde vas con 1  $\text{cm}^2$  de una capa fina? Pues bueno, para microelectrónica podría servir, pero no puedes hacer grandes cantidades.

Entonces, el método del futuro será uno como el nuestro, que estamos patentando, el cual aporta la capacidad de hacer grandes cantidades, pero no oxidando el grafito. Estos métodos que se van a desarrollar se conocen como métodos trigológicos, es decir, de deslaminación física del grafito.

**¿Y cree que este método será el más óptimo en relación con la calidad del grafeno obtenido y el coste del proceso?**

Claro, la condición que le permitirá imponerse es precisamente esa, una buena relación de calidad del grafeno obtenido, y precio que supone sintetizar-lo.

Además de que el producto obtenido sea puro, tiene que ser controlable, porque en el grafeno se nos olvida muchas veces que según que métodos dan lugar no a una sola capa de grafeno, sino a multicapas.

Yo suelo poner el ejemplo de una biblia de Gutenberg, un libraco con cinco mil páginas. Lo que suelo decir es que si el grafito lo mueles lo más fino que puedes y lo miras en el microscopio, verías una partícula que tendría la forma de un libro de cinco mil páginas, y cada una de las hojas sería una capa de grafeno.

Esa es mi imagen de una micropartícula de grafito, y ayuda a mucha gente a entender porque el grafeno es un material tan peculiar a pesar de ser químicamente carbono, igual que el grafito.

Volviendo a tu pregunta, el método que más óptimo será aquél que dé en la diana de la relación calidad y precio, y el que permita controlar las propiedades del grafeno, es decir, que si una empresa necesita grafeno de una sola capa, pues que tú puedas proporcionárselo. Si necesita grafeno de tres capas, pues lo mismo.

**¿A escala de grandes producciones de grafeno, como el caso de Graphenea, también se utilizan los métodos físicos y químicos, o son exclusivos de laboratorios de investigación?**

Si, se utilizan ambos métodos, pero sí que es cierto que hay métodos, como los físicos, que en principio parece mentira que se puedan llegar a aplicar, como por ejemplo, si uno ve un CVD, que produce  $\text{cm}^2$  de grafeno, no se lo imagina a grandes escalas. Sin embargo, con estos métodos se pueden controlar rigurosamente las propiedades del grafeno.

Pero como ha pasado con muchos otros materiales, al principio parece que sea imposible escalar los métodos de laboratorio, pero cuando uno da con la llave, estos evolucionan a pasos agigantados.

Por lo tanto, los dos tipos son escalables a nivel industrial, pero es cierto que los métodos químicos tienden a ser más fácilmente escalables.

**Dejando atrás su obtención, me gustaría hacerle unas preguntas relacionadas con las propiedades del grafeno. En mi trabajo las he dividido en mecánicas y eléctricas, y ambas me han fascinado. ¿En su opinión, cuales son las características que considera que dan al grafeno ese potencial tan revolucionario?**

Esta es una muy buena pregunta. Realmente lo que hace del grafeno un material avanzado pero realmente muy prometedor, no es una propiedad, sino la combinación de múltiples propiedades. Es decir, tener un material que es buen conductor, a la vez tremendamente resistente, flexible y en capa fina transparente, pues es una combinación de propiedades que, por ejemplo, para gente que hasta ahora ha estado trabajando en pantallas planas, les puede sonar una campanita.

**También encontré que una de las propiedades más sorprendentes del grafeno es su capacidad de auto reparación. ¿Es eso cierto, o es una propiedad inventada por los medios de comunicación?**

Pues fíjate, que esa propiedad no la tengo yo tan clara. ¿Autoreparación...? Mira, esto también me sirve para recordar que incluso los expertos no sabemos cosas. Lo investigaré porque me parece muy interesante. La verdad es que la veo factible, pero con una condición; me da la impresión de que se tendría que activar térmicamente ese material para que los átomos se redistribuyeran, porque así en frío no creo que sea posible.

Es cierto que también hay que ir con mucho cuidado a la hora de buscar noticias científicas y de divulgación científica, porque hay cada barbaridad en internet...

**En el caso que fuera cierta, ¿Qué puertas le abre esta propiedad, es decir, qué aplicaciones podríamos ver en un futuro que permitan expresar esa característica?**

Ojo, que esto de los “self healing materials” no es nuevo, puesto que me parece que la persona que investigó esta característica en el grafeno seguro que habría leído artículos sobre estos materiales, en los que se muestra que algunos polímeros cuando se rompen o quiebran, son capaces de regenerarse, bien espontáneamente, o bien inducidos por la adición de algún compuesto extra.

En todo caso, como siempre hago, después de soltarte el rollo intento responder la pregunta inicial. Esta propiedad supondría lo que se conoce como un cambio de paradigma en el mundo de los materiales, porque realmente estaríamos hablando de un esquema en el que la resistencia del material es secundaria, y aparece la adaptabilidad del material.

**Hablando de las aplicaciones del grafeno, he visto que este tiene potencial para influir en la mayoría de los ámbitos, pero especialmente en electrónica e informática. ¿Cuál cree usted que será el ámbito en el que más se desarrollará el grafeno?**

Des del punto de vista científico, yo estoy convencido de que el grafeno no va a tener uno, sino muchos ámbitos de aplicación importantes, pero probablemente en el que se está desarrollando más es en la creación de pantallas táctiles flexibles, en dispositivos de almacenamiento de energía como baterías y supercondensadores, también en placas solares de nueva generación, en electrodos, e incluso como material estructural.

**Es verdad que se habla mucho de la importancia del grafeno para la creación de pantallas flexibles en las que se pueda transmitir la electricidad. ¿Será eso posible en un futuro? Y en caso afirmativo, ¿Se atrevería a pronosticar un periodo de tiempo a partir del cual las veríamos en el mercado?**

Si realmente una multinacional como Samsung apuesta por esta propiedad de forma seria, estoy seguro de que no tardará mucho, estaríamos hablando de unos cinco años como muy lejos.

**En la actualidad existen distintas formas de comercializar el grafeno, puesto que lo fabrican en láminas, en polvo, en figuras tridimensionales, en disolución, etc. ¿De qué forma se comercializa normalmente el grafeno, o mejor dicho, cuál de ellas predomina?**

Bueno, depende de la aplicación que se le quiera dar, efectivamente. Por ejemplo, para laboratorio, yo recuerdo que hace años compraba grafeno en disoluciones acuosas, y digo en disoluciones siendo generoso, porque aquello era una pena de grafeno, seguramente el que has hecho tú era mejor.

Por suerte con el tiempo y la aparición de empresas productoras de grafeno, ahora compramos grafeno en polvo y en óxido, que no tiene nada que ver con el grafeno de hace años.

Por otro lado, para aplicaciones del tipo de pantallas planas, el grafeno que se utilice será forzosamente en forma de láminas depositadas sobre un sustrato flexible. Hace poco estuve en un congreso sobre el grafeno en China, y los chinos son tremendos, dan miedo. Allí producían grafeno sólido en grandes cantidades que era muy ligero, y este lo utilizaban para aplicarlo en aplicaciones de todo tipo.



Y cuando digo de todo tipo, realmente quiero decir eso. Vi algunas aplicaciones un tanto exóticas que yo no las veo como algo inmediato, pero si se produjeran de forma barata, ¿Por qué no?

Por ejemplo, allí conocí a un investigador que mostraba una pequeña pieza de grafeno monolítico, que puesta en la interface de agua y un tipo de aceite, permitía bombear la fase orgánica y separarla del agua, lo cual permitía utilizarlo para limpiar los vertidos de petróleo. Este ejemplo te lo ponía para demostrarte que el grafeno realmente tiene un sinfín de posibilidades.

**En referencia a su precio, ¿Usted cree que este se mantendrá estable a los valores de hoy en día, o este aumentará a medida que el grafeno se vuelva más conocido?**

No, no, seguro que este bajará. Porque todos los materiales avanzados, como por ejemplo el aluminio, del cual hablábamos antes, empiezan con un precio muy elevado y a medida que se investigan y se descubren nuevos métodos, estos disminuyen su precio de forma bárbara.

Para hacerte una idea, cuando el aluminio se descubrió, en la época de Napoleón III, este tenía un precio más caro que el oro, puesto que su proceso de obtención era laborioso, complejo y caro. Luego llegaron un par de jovencitos, un francés y un americano, e inventaron, de forma independiente, un proceso electrolítico de producción de aluminio, y realmente hundieron su precio. El precio bajó muchísimo a pesar de que era un material avanzado, es decir, que se habían avanzado sus aplicaciones antes de ser investigado.

En ese sentido, con el grafeno va a pasar lo mismo, puesto que también es un material avanzado que todavía no está en muchos dispositivos, y sin embargo, hay una gran demanda, porque la gente ve, vemos, muchas aplicaciones.

Entonces, si hay una gran demanda y conseguimos métodos de producción que abaraten su precio, lo normal es que quien consiga eso, termine haciéndose rico.

**Cuando empecé a buscar empresas especializadas en la producción de grafeno en España, me fijé que hay 4 en nuestro país que quieren conquistar el mercado del grafeno. ¿Cree que España va a tener acceso a la innovación del grafeno, u ocupará los últimos lugares de esta investigación?**

Bueno, el grafeno es una oportunidad para cualquier país de subirse al tren de la innovación, puesto que hasta hace muy poco, ni se conocía el material. Lo único que había eran especulaciones sobre su existencia, como por ejemplo en mi página web, donde yo también especulé, como muchos otros. Pero a partir del conocimiento teórico y especulativo, se ha pasado, en muy pocos años, al conocimiento experimental. Entonces, todo el mundo aún está a tiempo de aportar algo.

En ese sentido, yo creo que en España se están haciendo muy buenas iniciativas, por lo que nuestro país está ahí, en este proceso colectivo de investigación. Pero también pienso que dentro de este proceso cada individuo debe tener mucho que decir, porque está casi todo por hacer acerca del grafeno.

**¿Fuera de España, la investigación del grafeno tiene igual de interés, o se desarrolla con menor importancia?**

En todo el mundo, el grafeno está teniendo un impacto tremendo. Por ejemplo, tanto en Estados Unidos como en toda Asia Occidental este tiene mucho interés. De hecho, como te contaba antes, cuando estuve en China realmente pude ver que van muy en serio y a toda marcha a por métodos y plantas de producción de toneladas de grafeno al año. Todos los países están apostando fuerte por este material.

**Por último, me gustaría hablar un poco sobre el proyecto europeo Graphene Flagship. Para tener una visión general, ¿En qué consiste este proyecto europeo, y cuando empezó?**

Bueno, se trata de un proyecto muy reciente que coordina esfuerzos por parte de muchos laboratorios europeos, en diversas áreas del grafeno, tanto convencionales como emergentes.

Por ejemplo, un método convencional sería el almacenamiento de energía, en el cual ya existen dispositivos de grafeno que están revolucionando ese ámbito. Pero por otro lado, también se investigan campos más recientes, como el de la espintrónica.

Entonces, el Graphene Flagship es un proyecto muy ambicioso que intenta catalizar el avance colectivo europeo coordinado, en el tema del grafeno. También cabe decir, que la comisión europea tan solo aprobó dos proyectos de este tipo, que más que proyectos son estrategias. Estos dos fueron, por una parte, Brain, y por otra se aprobó el Graphene Flagship.

¿Por qué es importante decirte eso? Pues porque te da una idea de hasta qué punto el grafeno es un hito tremendo, te hace dar cuenta de su exclusividad.

**¿Y con este proyecto europeo, qué objetivos se desean conseguir?**

Básicamente se quiere dotar a Europa de la base científica y tecnológica que le permita ser puntera en el mundo emergente de las tecnologías de grafeno y en sus aplicaciones.

**También me fije en su grupo de Novel-Energy Oriented Materials. ¿En qué consiste este proyecto?**

Bueno, pues somos un grupo relativamente pequeño, pero que nos dedicamos a la investigación de materiales para dispositivos de almacenamiento y conversión de energía.

En almacenamiento podríamos ver materiales para las baterías de litio, o materiales para supercondensadores, los cuales son un tipo de baterías que almacenan energía y que te dan menos densidad de energía que las baterías convencionales, pero a una potencia mucho mayor. Es decir, un supercondensador es un dispositivo que permite cargar rápidamente, pero con menos capacidad de energía.

Por lo tanto, nuestro objetivo es aumentar la conversión de energía de las baterías, i la capacidad eléctrica de los supercondensadores. Para ello, el grafeno sería un material muy interesante, ya que podría facilitarnos mucho las cosas.

**¿En términos generales, últimamente estáis teniendo avances con el grafeno, o se ha encontrado algún problema que impida su desarrollo?**

Yo creo que se va avanzando a buen paso, porque no se han encontrado ninguna barrera que impida su desarrollo.

El único problema que se había encontrado, era con su biotoxicidad, la cual se estaba investigando. Pero me consta que se descartó esa posibilidad y que es totalmente compatible con medicina y biomedicina. De hecho, en este ámbito últimamente también se está desarrollando mucho.

**Bueno, esto es todo, muchas gracias por su tiempo.**

## Webgrafia i bibliografia

### **Pàgines web:**

THE GRAPHENE COMPANY. Grafeno.

<http://grafeno.com/category/grafeno/>

<http://grafeno.com/category/aplicaciones-comerciales/>

<http://grafeno.com/category/documentos-investigacion/>

DISQUS. Todo sobre el grafeno.

<http://www.infografeno.com/>

<http://www.infografeno.com/propiedades-del-grafeno>

<http://www.infografeno.com/aplicaciones-del-grafeno>

FRANCISCO R. VILLATORO. 2010 Nobel, Física.

<http://francis.naukas.com/2010/10/05/2010-nobel-fisica-andre-geim-y-konstantin-novoselov-por-el-descubrimiento-del-grafeno/>

FAYERWAYER. Siete aplicaciones revolucionarias del grafeno.

<http://www.fayerwayer.com/2013/06/siete-aplicaciones-revolucionarias-del-grafeno-para-la-tecnologia-moderna/>

WIKIPEDIA, THE FREE ENCYCLOPEDIA. Graphene.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Graphene>

GIZMODO. Ocho increíbles (y futuros) usos del grafeno // La receta del grafeno

<http://es.gizmodo.com/ocho-usos-increibles-del-grafeno-453826352>

<http://es.gizmodo.com/como-hacer-grafeno-en-casa-detergente-agua-grafito-y-1565477715>

THINK BIG. Siete usos sorprendentes del grafeno.

<http://blogthinkbig.com/7-usos-sorprendentes-del-grafeno/>

PREZI. Propiedades eléctricas y mecánicas del grafeno

<https://prezi.com/np0387baw5st/grafeno-propiedades-electricas-y-mecanicas/>

GRAPHENANO. Nuevos materiales para construir el presente

<http://www.graphenano.com/#work>

GRAPHENEA. Blog News

<http://www.graphenea.com/blogs/graphene-news>

GRANPH. Applications

<http://www.granphnanotech.com/>

NICK BILTON. Dúctil, resistente y transparente: el grafeno, un material del futuro

<http://www.lanacion.com.ar/1683244-ductil-resistente-y-transparente-el-grafeno-un-material-del-futuro>

YOUTUBE – ROBERT MURRAY SMITH. Super easy Graphene

<https://www.youtube.com/watch?v=Irg3kbnTN4o&index=14&list=PLbQqm4rNo6243e69xp-ZPUkYDb38oS4xU>

XATAKA. Samsung toma la delantera en la fabricación comercial de grafeno.

<http://www.xataka.com/otros/samsung-toma-la-delantera-en-la-fabricacion-comercial-del-grafeno>

ALFREDO RAYA MONTAÑO. Grafeno, el material maravilla

<http://www.sabermas.umich.mx/archivo/secciones-antiores/articulos/40-numero-5/80-grafeno-el-material-maravilla.html>

## **Llibres:**

GÓMEZ ROMERO, P. y SÁNCHEZ, C. (2004). Functional Hybrid Materials

RU GONG, J. (2011). Graphene - Synthesis, Characterization, Properties and Applications