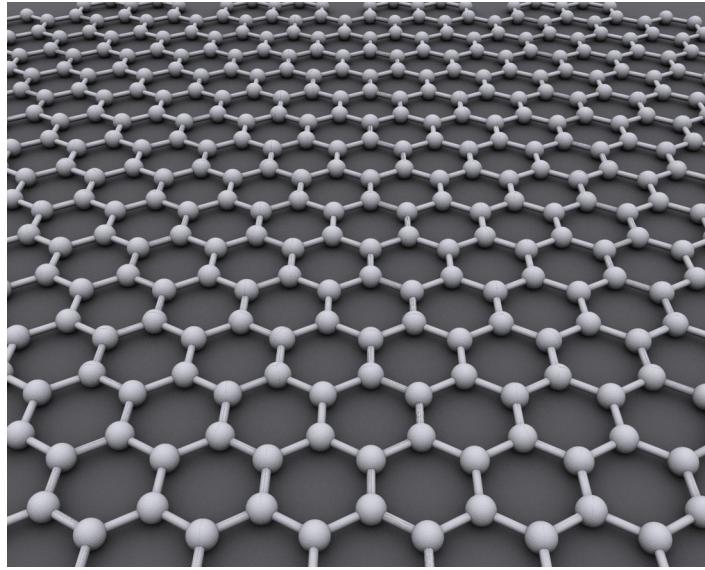


Grafè en el tractament de l'aigua

L. Baptista-Pires and Jelena Radjenovic



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graphen.jpg>

Imagina't la possibilitat de disposar d'un sistema de subministrament d'aigua que duri gairebé eternament, resistent a l'embrutament bacterià, a la corrosió, i amb la possibilitat de detectar i degradar instantàniament qualsevol contaminant potencialment perillós. T'imagines que poguessis pintar les parets del teu edifici amb una pintura que produeixi l'energia requerida pels teus electrodomèstics? I que el moviment de l'aigua de la rentadora permetés generar l'energia suficient per a desinfectar i tractar l'efluent de manera que pugui reutilitzar-se per a beure? Com poden generar i emmagatzemar energia les tecnologies de tractament d'aigua? Com es pot integrar els sensors de qualitat de l'aigua amb l'energia i el tractament per a acte-regular-se?

Els materials de grafè poden jugar molt aviat un paper clau per a respondre a aquestes preguntes...

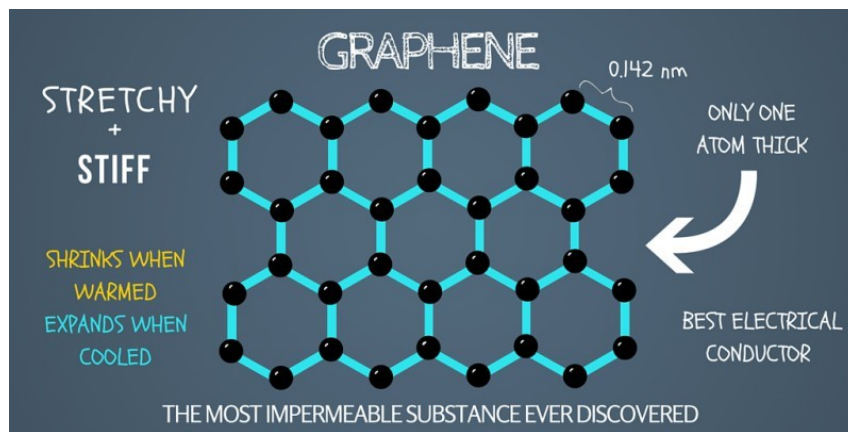
1. El futur sempre és a les teves mans.

T'imagines que tota la vida has tingut el futur a les teves mans? Geim i Novosolev en 2004 van aïllar per primera vegada el grafè del grafit utilitzant una simple cinta adhesiva. El grafit és el material de les mines dels llapis que has estat utilitzant tota la teva vida. Ells van guanyar el Premi Nobel per aïllar i caracteritzar les propietats electròniques del grafè. Hi haurà un premi Nobel amagat en el teu bolígraf? Potser sí, però abans veurem que és el grafè, aquest material del qual tothom parla últimament. El grafè és una simple capa d'àtoms de carboni organitzats en un patró hexagonal de dues dimensions. Més dur que l'acer i amb una gran flexibilitat, un s'ho pot imaginar com un full de paper amb una estructura d'àtoms de carboni enllaçats. Això permet la ràpida circulació dels electrons que no troben cap resistència. Seria com conduir

per una autopista perfecta sense trobar-se altres cotxes o obstacles pel camí... Ara, si a aquesta autopista li afegeixes uns arbres pertot arreu (grups funcionals d'oxigen) i alguns forats en el sòl (buits/defectes) et trobaràs amb el cosí del grafè, que es diu Òxid de Grafè (OG). A l'inrevés que el grafè, l'OG és un aïllant una vegada que presenta una gran resistència a la circulació d'electrons a través de la seva superfície.

Aquesta pròpia limitació de l'OG li permet ser suspès en aigua per a formar tintes. D'aquesta manera es pot imprimir, pintar o recobrir amb OG gairebé qualsevol material. Resulta fàcil de manipular, i és molt més barat ja que es pot produir massivament a partir del grafit natural mitjançant mètodes químic o físics. I el més important, l'OG es pot transformar en un material conductor simplement eliminant els grups funcionals d'oxigen i reparant els forats de la seva estructura mitjançant diferents tractaments (químic o electroquímic, entre altres). D'aquesta manera la nostra autopista es queda pràcticament sense arbres (alguns no es poden eliminar) i, encara que no pots conduir tan ràpid com en l'autopista de grafè, almenys pots circular. Aquestes propietats donen pas a la producció d'un nou material denominat Òxid de Grafè Reduït (OGR). Aquest material, a causa de l'arranjament dels seus defectes i al precís control del nivell de grups funcionals, resulta molt reactiu a interaccions moleculars, és conductor elèctric i tèrmic, i actiu electroquímicament. Ha permès la producció de sensors flexibles i barats, bateries (supercapacitors) que es poden carregar i descarregar molt ràpidament, millorar la funcionalitat de cèl·lules solars, i fins i tot a ser utilitzat en aplicacions antibacterianes. Cal remarcar que l'OGR pot ser utilitzat com a xarxa de suport i ser dopat amb altres àtoms com el Bor, el Nitrogen o el Sofre (entre altres, la família del Grafè no para de créixer) per a formar altres materials amb aplicacions específiques – la carretera es dopa amb arbres d'altres espècies. Una vegada que aquesta família de materials 2D amb diferents estructures atòmiques i dopatges químics poden ser processats com a tintes, podem construir fàcilment matrius estructurals en 3D i d'aquesta manera passar d'una escala nano a micro i macroestructura. D'aquests nanomaterials es poden produir escumes, esponges o pel·lícules, de fàcil manipulació per als humans, però amb propietats excepcionals a causa de les seves estructures específiques nano/micro.

A manera de breu conclusió, els tres aspectes esmentats amb anterioritat: 1) possibilitat de produir tintes; 2) possibilitat de dopar químicament; 3) possibilitat de transformar l'estructura intrínseca en dispositius 3D micro o macro, obren la porta a desenvolupar infinites configuracions per a aplicacions específiques.



<https://www.soumac.co.uk/soumacs-wow-technology-blog-graphene/>

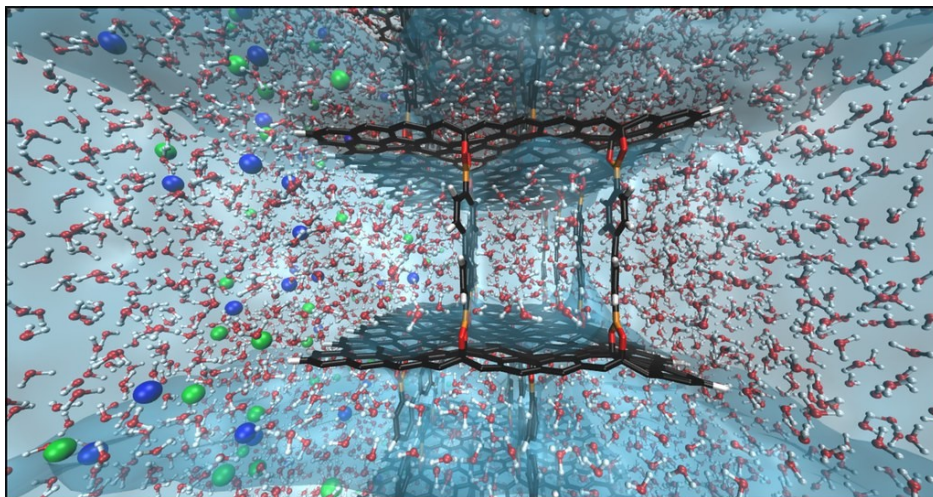
2. Materials sobre la base de grafè per al tractament de l'aigua.

Tant l'OG com l'OGR han estat àmpliament explorats per al tractament de l'aigua i una de les seves aplicacions més estudiades és per a la producció de noves membranes de filtració. Membranes basades en OG i OGR s'han utilitzat tant per a la separació per filtració en funció de la grandària de les diferents molècules com per a la degradació electroquímica de contaminants. L'OGR, igual que l'OG, té propietats antibacterianes i antiembrutiment, a més de poder evitar la corrosió i ser impermeable a àcids en funció de la seva microestructura. L'OG suspès en aigua pot ser fàcilment filtrat sobre paper de filtre i utilitzat com a membrana on els àtoms d'oxigen introdueixen una distància entre les capes atòmiques de carboni. La distància entre capes de carboni tan precisa pot ser dissenyada per a permetre passar a algunes molècules i retenir-ne d'altres en funció de la seva grandària; és per això s'han aplicat per a la dessalinització i l'eliminació de contaminants. Aquest material també s'ha utilitzat per a controlar la permeabilitat de l'aigua usant electricitat en col·locar-lo entre dos elèctrodes i controlar la càrrega elèctrica en l'espai entre les capes. Utilitzant el mateix sistema de membranes amb un elèctrode d'OGR, es poden degradar electroquímicament contaminants quan passen a través seu. De fet, l'electroquímica és un tema capdavanter de recerca en el camp de l'aigua perquè ofereix un ampli ventall d'avantatges respecte a altres tecnologies existents. Per exemple, l'únic reactiu que utilitzen els sistemes electroquímics són els propis electrons i són capaços de degradar els compostos més persistents, com les substàncies poli i perfluoralquilos. Les escumes en base a OGR o altres macroestructures que poden ser dopades o no, són candidats ideals per a la degradació electroquímica de contaminants persistents en aigua. A causa dels grups funcionals i la seva estructura desordenada afegit a l'estructura 3D amb una enorme àrea superficial, les escumes d'OGR posseeixen punts catalítics addicionals que promouen la degradació de contaminants persistents, la (electro)sorció i eliminació de metalls pesants, i la mort de bacteris. Les escumes d'OGR també poden ser dissenyades per a ser altament hidrofòbiques, i llavors s'apliquen per a l'adsorció i eliminació d'olis de l'aigua.

Les membranes, escumes, esponges, dopades o no, basades en tecnologia de OG o OGR, esmentades amb anterioritat, poden canviar el concepte de tractament de l'aigua, la reutilització i el subministrament, tenint en compte la seva versatilitat, capacitat infinita d'adoptar diferents formes i facilitat de maneig. OG i OGR són els materials base més versàtils per a la síntesi de cobertures, composites i arquitectures 3D. Amb unes

expectatives d'expansió significativa del mercat per al grafè en 5-10 anys, resulta raonable assumir que la producció a llarga escala del OG s'expandirà, rebaixant costos i convertint-lo en una opció encara més viable econòmicament per al tractament de l'aigua.

Superar el repte de l'escassetat de l'aigua i la contaminació en la gestió dels recursos hídrics requereix una aposta pionera per les tecnologies més avançades de tractament de l'aigua. L'opció de dur a terme una gestió més localitzada del cicle de l'aigua i la introducció de sistemes distribuïts de tractament està cada vegada més reconeguda enfront del sistema convencional de tractament centralitzat al final del col·lector que es va implementar a partir de mitjans del segle XIX. L'aplicació de sistemes descentralitzats de tractament i reutilització com la recollida d'aigües pluvials, o la separació, tractament i reutilització d'aigües grises, representen una oportunitat per a adaptar-se millor a l'escassetat d'aigua, la precipitació impredecible, i altres conseqüències del canvi climàtic. Tecnologies intel·ligents i de baix cost com les membranes, escumes i esponges basades en OG i OGR, amb o sense aplicació de corrent, poden facilitar un ús segur i sostenible dels recursos hídrics, disminuint la nostra dependència de les xarxes centralitzades d'aigua i energia i minimitzant l'impacte ambiental del nostre consum d'aigua.



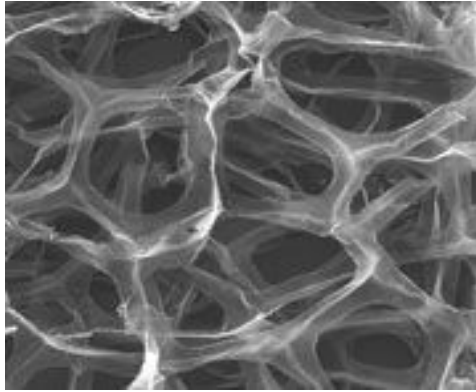
<https://www.flickr.com/photos/oakridgelab/14006201292>

3. I ara quin futur ens espera?

A més de les aplicacions basades en aigua, els materials basats en grafè han estat focus d'atenció en el camp dels supercapacitors, els panells solars, la captació i emmagatzematge d'energia i els actuadors (materials que canvien la forma depenent del mitjà). Els sensors basats en OGR, amb una impressió personalitzada sobre la base de l'estructura proposada o la realitat ambiental, poden determinar simultàniament pressió, moviment, humitat, temperatura, canvis en pH i presència de bacteris, paràmetres vitals per al monitoratge del tractament d'aigües i aigües residuals en els sistemes de distribució. El monitoratge i els sistemes de tractament en general necessiten estar connectats a una font d'energia, fet que li dona un altre avantatge significatiu a l'OGR: pot produir petites quantitats d'energia a causa del

moviment de l'aigua, el gradient d'humitat i la pressió, o pot augmentar l'eficiència de les tecnologies d'energia renovable. L'energia produïda pot ser emmagatzemada en supercapacitors de càrrega/descarrega ràpida, per a encendre aparells que depenguin de l'energia com els sensors o les xarxes de transmissió de senyal. Energia, sensorització i tractament d'aigua afegit a les propietats mecàniques dels materials basats en grafè com la flexibilitat i la força, obren la porta a la seva incorporació en sistemes i locals de difícil implementació/accés. Els dispositius multi-tasca autoalimentats basats en grafè per al monitoratge ambiental i el tractament d'aigua i aigües residuals, suposaran un gran pas endavant i poden jugar un paper guanyador en la lenta però al seu torn inevitable transició cap a un món més sostenible. La Indústria en el camp de l'aigua en general ha estat menys predisposada a canvis disruptius. La recerca acadèmica emergent i les empreses *spinoff* afronten una llarga travessia per arribar al mercat i substituir les tecnologies existents. No obstant això, la facilitat per a la integració i disposar de diferents funcionalitats en un únic dispositiu poden ser factors determinants per a traduir aquesta recerca en aplicacions del nostre dia a dia i un complement a les solucions actuals. Amb l'evolució de les Tecnologies de la Informació, 5G i la Intel·ligència Artificial, el monitoratge en línia i en temps real permetrà evitar problemes com les pèrdues en les canonades o la detecció de compostos tòxics abocats a una xarxa de distribució d'aigua o fins a la variació de virus/bacteris en corrents d'aigües. Ajuntant-ho tot, un es pot imaginar el monitoratge i tractament avançat i descentralitzat d'aigua utilitzant sistemes modulars que són versàtils, tractant i detectant al mateix temps que són eficients i independents de l'energia. En general, la possibilitat d'aplicar aquests sistemes en diferents contextos mundials i amb diferents punts de vista, tant per a gent amb un elevat nivell de vida com per a comunitats rurals de difícil accés, suposarà un progrés per a l'accessibilitat a l'aigua i a la reutilització d'aquesta.

Encara que hi ha molt de camp per investigar per a aconseguir una major generació d'energia a través dels dispositius de grafè i un menor consum dels sistemes electroquímics de tractament d'aigua utilitzant estructures electrocatalítiques més eficients, la combinació d'aquestes propietats amb l'habilitat il·limitada de donar-li forma, pintar o fer patrons d'aquestes estructures en arquitectures futurístiques, suposaran un gran impacte en la manera de considerar el tractament de l'aigua. Disseny, Arquitectura i Ciència, de la mà de la imaginació i creativitat de la Societat per a redissenyar com utilitzem el tractament de l'aigua a nivell individual, juntament amb plataformes personalitzades eficients des d'un punt de vista energètic és l'objectiu a aconseguir. Subministrant eines a la societat i permetent a la gent que sigui l'enginyer del seu propi sistema de tractament de l'aigua, canviarà la percepció del recurs i permetrà fer front a algun dels majors reptes relacionats amb l'impacte ambiental de la gestió i tractament de l'aigua, fent del nostre un món més sostenible. Jugarà el grafè un paper clau en aquest joc per a canviar el futur? No ho podem assegurar, però preguntes i respostes emergiran de les infinites possibilitats que posem damunt de la taula..



<https://www.nature.com/articles/472138c>

T'imagines que pots imprimir el teu propi sistema de tractament de l'aigua? Ja pots començar a fer-ho...

RECONeixEMENTS:

- *Els autors volen agrair el suport del Departament d'Economia i Coneixement del Govern català a través del Grup de Recerca Consolidada (ICRA-TECNOLOGIA - 2017 SGR 1318)*