

Indice

Editorial	1
Otra clasificación de materiales carbonosos.....	2
Reseña Tesis Doctoral	16
Actividades del GEC.....	16

Junta Directiva del GEC

Presidente:
Rosa Menéndez López

Vicepresidente:
Diego Cazorla Amorós

Secretario:
José Rodríguez Mirasol

Tesorero:
Mª Jesús Lázaro Elorri

Vocales:
Ignacio Martín Gullón
J. Angel Menéndez Díaz
Francisco Carrasco Marín
Mª Victoria López Ramón
Francisco García Labiano
Fco. Javier Narciso Romero

Edición

Dirección:
J. Angel Menéndez Díaz

Equipo Editorial:
Ignacio Martín Gullón
Ana Arenillas de la Puente

Editorial

Os presentamos un nuevo Boletín del Grupo Español del Carbón, noveno desde su creación y segundo de este año 2008. Como observareis se han producido ligeras modificaciones en lo que respecta a la presentación del boletín, que corresponden a un cambio de los encargados de maquetación del mismo. A estos cambios en el Boletín, hemos de sumar también una página web renovada, que en el momento de cerrar esta editorial se encuentra aun en proceso de construcción. Pero confiamos que en un plazo breve, esté totalmente operativa en la también nueva dirección que ya figura en el encabezamiento de este boletín: www.gecarbon.org -Para los que se pregunten el porqué de este domino, comentar que otros más evidentes para el GEC ya están siendo utilizados-. Dicho esto, no quiero dejar pasar la oportunidad de expresar mi reconocimiento al Dr. Ignacio Martín Gullón, actualmente vocal de la Junta Directiva del GEC y coeditor de este boletín, ya que durante varios años se ha venido encargando, de forma totalmente desinteresada, de mantener la página web del GEC que ahora estamos a punto de sustituir. ¡Gracias Nacho!.



Por otro lado, y en este proceso de cambios en lo que respecta al boletín y página web del GEC, cabe señalar que, si bien el mantenimiento de la web y maquetación del boletín correrá por cuenta de una empresa especializada, los responsables de los contenidos, por el momento, seguirán siendo el equipo editorial del Boletín. Equipo que, como podéis observar, hemos ampliado con la incorporación de la Dra. Ana Arenillas, y que en un futuro esperamos incrementar con la incorporación de una o dos personas más. Vaya desde aquí mi invitación a aquellas personas interesadas en colaborar para que se pongan en contacto con el equipo editorial. Aun a fuerza de resultar repetitivo, os recuerdo que este Boletín solo es posible gracias a vuestra colaboración, y que podéis participar enviándonos: noticias, reseñas de tesis doctorales, artículos de divulgación o cualquier otro material que consideréis apropiado para su publicación en nuestro Boletín. En este sentido, y con objeto de facilitar y ampliar la participación de los miembros del GEC y otras personas interesadas tanto en el Boletín como en otras actividades, la nueva página web contará con una serie de aplicaciones que harán posible enviar de forma sencilla y "on-line" todas vuestras contribuciones. Por último, quiero concluir esta editorial expresando nuestra enhorabuena a D. Rafael Moliner, anterior Tesorero del GEC, y a nuestra actual Presidenta D^a Rosa Menéndez por sus recientes nombramiento como Coordinador Científico y Técnico del área de Ciencias y Tecnologías Químicas del CSIC y Vicepresidenta de Investigación Científica y Técnica del CSIC, respectivamente.

Feliz verano a todos
J. Ángel Menéndez

Otra clasificación de materiales carbonosos

Gregorio Marbán y Conchi Ania

Instituto Nacional del Carbón (INCAR) - CSIC

c/ Francisco Pintado Fe 26, 33011 Oviedo (Spain)

E-mail: greca@incar.csic.es, conchi@incar.csic.es

Llevar a cabo una clasificación de materiales de carbono es algo a lo que casi todos los investigadores relacionados con el mundillo se han visto abocados, o al menos tentados, en algún momento de sus carreras investigadoras.

Al igual que todos los aficionados al fútbol son entrenadores potenciales del equipo de sus pasiones, todos los investigadores en materiales de carbono se consideran igualmente potenciales "clasificadores". En general casi todas las clasificaciones acaban pareciéndose entre sí, como no puede ser de otro modo, y debiendo su estructura jerarquizada a los trabajos de reconocidos popes del campo como los doctores Rodríguez Reinoso, Radovic, Marsh, Inagaki, etc.

Obviamente no es objeto de esta ¿nueva? clasificación enmendar la plana a los mencionados investigadores, incluyendo los cientos que pugnan por salir de la brevedad de un conciso etcétera, sino más bien todo lo contrario; rendirles homenaje.

Cuando hace más o menos ocho años uno de los co-autores de esta clasificación, Gregorio Marbán, esbozó su primera versión, no lo hizo para aportar sus escasos conocimientos en el tema a la comunidad científica, sino con el menos pretencioso objetivo de ordenar sus ideas durante la preparación de los ejercicios de un concurso oposición. Para la ejecución de la tarea sólo fue necesario sumariar la información ya recogida de forma exhaustiva en publicaciones de los antedichos investigadores, así como en handbooks sobre materiales carbonosos.

El resultado fue una clasificación tabulada de pocas hojas que tenía el aliciente de incluir algunas breves notas sobre los procedimientos de producción y aplicaciones reales y potenciales de los distintos materiales. En sí la clasificación no habría pasado de un simple ejercicio académico de no haber llamado la atención de uno de los co-opositores, que gentilmente se ofreció a "valorar" sus contenidos. ¡Tiempos lejanos cuando la amistad prevalecía sobre la competitividad!

A lo largo de años posteriores la clasificación fue transmitida mediante el clásico soporte de la fotocopia y utilizada con fines de diversa índole por otros investigadores del Instituto Nacional del Carbón de Oviedo, lo cual finalmente nos llevó a pensar que podría ser también de utilidad en el ámbito más amplio del Grupo Español del Carbón. Sin embargo, en el transcurso de menos de una decena de años la inagotable fertilidad del campo de materiales

carbonosos ha producido infinidad de nuevos especímenes, a la vez que otros viejos han cambiado de jerarquía en función de los nuevos conocimientos.

La apetencia casi lujuriosa que poseen los átomos de carbono para combinarse tanto entre sí como con otros elementos o materiales dando lugar a nuevas formas y estructuras 3-D parece casi ilimitada.

Así, dependiendo de la organización de los átomos de carbono, o de la presencia de heteroátomos y sus combinaciones, los materiales resultantes presentan propiedades y estructuras muy diversas, lo que los hace insustituibles en numerosos campos de aplicación, tanto como materiales estructurales como con otra funcionalidad.

El crecimiento exponencial de la familia de los materiales de carbono en estos últimos años es consecuencia directa de la extensa investigación que se está llevando a cabo en diversos ámbitos. Junto a los materiales tradicionales -grafito, diamante o carbón activado-, la investigación y el desarrollo de nuevos métodos de síntesis ha motivado la aparición de nuevas estructuras (espumas, geles, fibras, películas de carbono), formas alotrópicas insólitas (fullerenos, nanotubos, nanoespumas), materiales con propiedades diseñadas a medida (control de la porosidad, estructuras jerarquizadas) o materiales híbridos multifuncionales (compuestos de intercalación, materiales compuestos carbono/carbono, metalocarbohedrenos). Incluir los nuevos materiales en la clasificación se presentaba como una tarea ingente.

Afortunadamente el guante de la renovación fue recogido por la doctora Conchi Ania, co-autora de este trabajo, que no sólo proporcionó el empaque que ahora posee la clasificación, sino que pulió multitud de defectos que pasaron por alto en su redacción prístina. En la labor de revisión también ayudaron los doctores Marcos Granda, María Antonia Díez-Díaz Estébanez y Ángel Menéndez, cuyos comentarios fueron siempre muy valiosos.

Nuestro objetivo final ha sido realizar una clasificación sencilla y actualizada de los materiales de carbono, proporcionando una visión global del estado actual del arte.

El criterio de clasificación escogido se basa en la distinción entre materiales carbonosos simples y compuestos, atendiendo a la presencia de elementos o materiales que modifiquen significativamente las propiedades del material carbonoso. En cualquier caso, la elección de criterios diferentes a los

escogidos daría lugar a clasificaciones alternativas a la aquí propuesta, igualmente válidas. Se han incluido los materiales tradicionales junto con las denominadas 'nuevas formas de carbono', haciendo especial hincapié en aquellos materiales que han adquirido gran relevancia en las últimas décadas por su elevado potencial en campos de aplicación emergentes, y en nuevos procedimientos de síntesis que permiten diseñar 'a medida' las propiedades de los materiales resultantes en función de su aplicación final. Esperamos finalmente que la clasificación pueda servir a cualquier iniciante en el mundo de los materiales carbonosos de punto de apoyo para impulsarse hacia más altas cotas de conocimiento en la materia, del que son activos productores a nivel mundial muchos de los integrantes del Grupo Español del Carbón.

Literatura recomendada

- Gogotsi Y (Ed.), en *Nanomaterials Handbook*, CRC Press, 2006
- Inagaki M, en *New carbons. Control of structure and functions*, Elsevier Science, Oxford, 2000
- New Carbon Based Materials for Electrochemical Energy Storage Systems*, NATO Science Series, 229, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2006
- Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*, TJ Bandosz Ed., Elsevier, New York, 2006
- Pierson HO, en *Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes: Properties, Processing and Applications (Materials Science and Process Technology)*, Elsevier, New Jersey, 1994
- Lee J, Kim J, Hyeon T, *Recent Progress in the Synthesis of Porous Carbon Materials*, Adv. Mater, 18, 2073, 2006
- Kyotani T, *Control of pore structure in carbon*, Carbon 38, 269, 2000.
- Marsh H, Rodríguez-Reinoso F, en *Activated Carbon*, Elsevier, London, 2006.
- Marsh H, Heintz E, Rodríguez-Reinoso F, en *Introduction to carbon Technologies*, University of Alicante, Alicante, 1997
- Pilato LA, Michno, JM, en *Advanced Composite Materials*, Springer-Verlag, Berlin, 1994
- Donnet JB, Wang TK, Peng JCM, Rebouillat S (Eds.), en *Carbon Fibers*, Marcel Dekker Inc., New York, 1998

Glosario de abreviaturas

AAO: Anodic aluminium oxide	HDN: Hidrodesnitrogenación	<i>phenylenediamine-</i>
a-C: Amorphous carbon	HDS: Hidrodesulfuración	<i>3,3',4,4'-tetraaminobiphenyl</i>
ADNR: Aggregated diamond nanorods	HIFI: High fidelity	PPTA: Poli(p-fenileno tereftalamida)
API: Addition-reaction polyimides	HOPG: Highly ordered pyrolytic graphite	PSA: Pressure swing adsorption
BMI: Bismaleimida	HP: High performance	PTFE: Politetrafluoroetileno
C/C: Composites carbono / carbono	ITO: Indium tin oxide	PVC: Cloruro de polivinilo
CBCF: Carbon-bonded carbon fiber composite	MCMB: Mesocarbon microbeads	PVD: Physical vapor deposition
CFRC: Carbon fiber reinforced cement	MWCNT: Multiwall carbon nanotube	PVDC: Policloruro de vinilideno
CFRCer: Carbon fiber reinforced ceramics	NG: No grafitizable	Sg: Superficie específica
CFRP: Carbon fiber reinforced plastic	ORNL: Oak Ridge National Laboratory	SA: Sudáfrica
CPI: Condensation-reaction polyimides	P: Presión	SCR: Selective catalytic reduction (de NO)
CVD: Chemical vapor deposition	PAN: Poliacrilonitrilo	SWCNH: Single wall carbon nanohorn
CVI: Chemical vapor infiltration	PBI: Polibencimidazol	SWCNT: Single wall carbon nanotube
DLC: Diamond-like carbon	PBO: Poli(p-fenileno benzobisoxazol)	T: Temperatura
ESA: Electrothermal swing adsorption	PBT: Poli(butileno tereftalato)	TGMDA: Tetraglicidil metileno dianilina
G: Grafitizable	PCB's: Bifenilos policlorados	THF: Tetrahidrofurano
GP: General purpose	PEEK: Poliéter-éter cetona	TSA: Temperature swing adsorption
HCF: Hidrofluorocarbono	PEK: Poliéter cetona	VGCF: Vapor grown carbon fibers
HCFC: Hidroclorofluorocarbono	PF: Fenólico/a	VOC's: Volatile organic compounds
	PGS: Pyrolytic Graphite Sheet	ρ: densidad
	PPP: Poli(p-fenileno)	
	PPS: Sulfuro de polifenileno	
	PPT: Pyromellitic dianhydride-p-	

Clasificación de materiales carbonosos simples

Producto carbonoso	Grupo de materiales o proceso de fabricación	Precursor	G/NG	Forma	Aplicaciones
Hibridación sp^3 G: grafitizable NG: No grafitizable					
Lonsdaleíta Forma alotrópica	Diamante en sistema cristalino hexagonal	Origen meteorítico. Compresión de grafito. Descomposición térmica $[HC]_n$ 1bar; 110-1000°C; Ar	-	Cristales agregados	-
Nanodiamante Forma alotrópica	Molienda polvo diamante [Mypolex, Dupont] Irradiación de electrones; CVD (baja P, T moderada) Detonación (alta T y P)	Grafito, C_{60} , MWCNT, nanocebollas	-	Películas, ó cristales de algunos nm de diámetro, según síntesis	Refuerzo de acero y materiales compuestos (resistencia corrosión) Posibles aplicaciones en medicina como transportador de fármacos (en estudio)
	Agregados de diamante nanocilíndricos (ADNR) (Dubrovinskaia, 2004)	Compresión C_{60} [20 GPa, 2800 °C]	-	Agregados interconectados de diámetro entre 5-20 nm y longitud 1 μm	Especulativas Posible aplicación en herramientas de corte como superabrasivo
Diamante (no considerado como material carbonoso en las clasificaciones al uso) Forma alotrópica	Diamante natural	Kimberlita	-	Cristales de ~0.02 g	Gemas, molienda, cortado, pulido, etc.
	Diamante sintético de alta presión (método explosivo). Dupont	Coque de brea grafitizado (catalizador solvente = Fe) [300 kbar, 700°C]	-	Pequeños diamantes policristalinos de hasta 60 μm	
	Diamante sintético de alta presión (método hidráulico). Beers (SA)	Coque de brea grafitizado (catalizador solvente = Fe-Ni) [55-60 kbar, 1500°C]	-	Cristales comerciales de hasta 6 mm (hasta 2 carats = 0.4 g)	
	Diamante CVD (T formación H atómico = 2000°C; T sustrato = 800-1000°C).	CH_4 , alifáticos, aromáticos, etc. + H (elimina sp^2 y estabiliza sp^3). Activación: plasma, hot-wire	-	Recubrimientos policristalinos (grosor de hasta 1 mm)	
Hibridación sp^3-sp^2					
Carbón amorfo Forma alotrópica Hibridación $sp^2 + sp^3$ (mayoritaria sp^3)	Carbón tipo diamante (DLC) hecho por PVD	Grafito bombardeado con Ar (se forma C por 'sputtering') [a-C]	NG	Recubrimientos de hasta 1 μm	Recubrimiento de materiales a baja temperatura (<300°C). Substituto de teflón y otros recubrimientos (carburos y nitruros) para aplicaciones de fricción a baja temperatura. Máscara en litografía de circuitos impresos. Ventanas ópticas en infrarrojos y láser. Lubricante sólido. Prótesis ortopédicas
	Carbón tipo diamante (DLC hecho por PVD/CVD)	CH_4 ó nC_4H_{10} ó $C_2H_2 + H_2$ activado por radiofrecuencia [a-C:H]			
Fullerenos (Kroto, 1985) Forma alotrópica Hibridación intermedia sp^x ($2 < x < 3$) C_{60} : $sp^{2.28}$	Vaporización láser	Grafito + pulso de Helio	-	Cristales moleculares	Semiconductores (M_6C_{60}), superconductores (M_3C_{60}), limitadores ópticos, fotoconductividad (como dopantes de polímeros), síntesis de SiC y diamante, encapsulación de gases, aplicaciones terapéuticas células fotovoltaicas
	Arco eléctrico	Grafito en atmósfera de He (200 torr)	-		
Nanoespumas (Rode, 1997) Forma alotrópica Hibridación intermedia sp^x ($2 < x < 3$)	Irradiación de láser de alta potencia en cámara de argón [T=10000°C; P>0.1 torr]	Carbón vítreo	-	Red 3D de heptágonos y hexágonos (curvatura inversa); contiene electrones desapareados	Semiconductor. Propiedades magnéticas y ferromagnéticas, potencial aplicación en biomedicina
Estructuras hipotéticas	'Haeckalites' (Terrones, 2000)		-	Nanotubos formados por anillos de 5, 6 y 7 átomos de carbono	Estructuras hipotéticas (formas alotrópicas propuestas en función de cálculos energéticos favorables)
	'High genus fullerene' Terrones (2000)		-	Estructura toroidal con anillos de 6 y 7 átomos de C	
	'Schwarzites' (Terrones, 2000)		-	Estructuras 2D con anillos de 5 y 7 átomos de C	

Producto carbonoso	Grupo de materiales o proceso de fabricación	Precursor	G/NG	Forma	Aplicaciones
Esferas de carbono concéntricas	Irradiación de electrones hacia nanopartículas de carbono con caras planas ('faceted')	Nanopartículas de carbono	-	Esferas concéntricas (cebollas, hasta 10 nm)	Especulativas
Nanotubos (Iijima, 1991) Forma alotrópica Hibridación intermedia sp ^x (2<x<3)	Vaporización láser sobre blanco de grafito, Ar; 1200°C	Blanco de grafito	-	70%; SWCNT, sin defectos	Conductores y semiconductores. Refuerzo de composites muy finos y resistentes (gran elasticidad). Pantallas y sondas de electrones. Sensores. Baterías de Li. Pilas de combustible. Supercondensadores. Catalizadores (etilbenzeno a estireno). Transistores. Medicina
	Arco eléctrico sobre electrodo de grafito, He/Ar	Blanco de grafito		30-90%; SWCNT+ MWCNT; tubos cortos con defectos	
	CVD catalítica	[10%C ₂ H ₂ / N ₂] ; CO Catalizadores: Fe, Co, Ni	-	MWCNT con defectos	Sistemas fotovoltaicos (torres 3D) miniaturizados; membranas en separación de aceites pesados/ligeros; filtración agua por compresión
	Molde de óxido de aluminio anodizado (AAO)	I) CVD no catalítica: C ₃ H ₈ II) Impregnación fase líquida (alcohol furfurílico, poliacrilonitrilo) + carbonización	G	MWCNT, tubos largos y abiertos por los extremos, alineados	
	Pirólisis en aerosol 'spray pyrolysis' + CVD catalítica	Disolución de benceno, xileno, etc. [Ar, Ar/H ₂ 85:15%] Catalizadores: ferroceno	-	Estructuras 3D alineadas 'forest'	
	Nanotubos poligonales	Tratamiento MWCNT a 2000°C y alto vacío	-	Nanotubos multipared	Especulativas
Estructuras gráficas no planas	'Nanohorns' (Harris, 1994)	Descarga por arco eléctrico o vaporización láser sobre electrodos de grafito (sin catalizador)	G	Agregados de partículas de 100 nm Monopared (SWCNH), películas	Aplicaciones potenciales como: soportes de electrocatalizadores, emisores de campo, medicina, adsorción CH ₄ , almacenamiento de H ₂ , intercalación de Li, electrónica
	Nanocoils, nanoribbons	CVD catalítica de hidrocarburos, resinas, (Fe, ITO)	G	Nanocoils, nanoribbons	
	Espirales ó 'nanoscrolls' (Viculis, 2003)	Intercalación/ exfoliación y tratamiento en ultrasonido de grafito	G	Espirales diámetro medio 40 nm	
	Conos (nanocones)	Descomposición de hidrocarburos sobre carbón tipo vidrio; condensación sobre sustrato de grafito	G	Cristales cónicos de grafito que incorporan pentágonos; ángulo de inclinación variable	
Nanofibras de carbono	CVD método del sustrato	Hidrocarburos: benceno, metano, acetileno, n-hexano, etc. Catalizadores: Fe, Ni, Co, etc.	G	Filamentos tamaño submicrométrico. Estructuras tipo 'platelet', 'herringbone', 'ribbon', 'stacked-up'	Placas bipolares, soportes de electrocatalizadores, automoción, industria aeroespacial, adsorbentes, separación y almacenamiento de gases, soportes de catalizadores
	CVD método del catalizador flotante				
	Electrohilado	Mezcla coaxial de líquidos (glicerina, etanol, lignina)	-	Nanofibras huecas	
Fibras de carbono no grafitizables	Fibras de uso general (grado GP, 'general purpose'). Se hacen termoestables tras la estabilización oxidativa.	Fracciones de breas de carbón y petróleo (fase isotrópica) -cortes de destilación, extracción con disolventes-	NG	Filamentos diámetro mínimo 10 µm.	Precusores de materiales porosos (adsorbentes, catalizadores, etc.). Refuerzo (relleno) de materiales compuestos (ver materiales compuestos de refuerzo fibrilar)
	Fibras de altas prestaciones (grado HP, 'high performance')	PAN (hilado húmedo)		Fibras sueltas cortas o continuas. Filtros tejidos y sin tejer. Mantas.	Fibras de alto rendimiento. Precusores de materiales porosos (catalizadores, soportes de catalizadores, etc.)
		PAN (extrusión)			
		Rayón			
	Fibras tipo vidrio	Resinas fenólicas (Novolak), furánicas, etc. (fibras kynol)		Precusores de materiales porosos (catalizadores, soportes de catalizadores, etc.)	
Fibras activadas	Ver materiales porosos				
Geles de carbono (Pekala, 1989) Hibridación sp ³ +sp ² +sp	Método sol-gel con catalizador básico [carbonato de sodio]	Resorcinol – formaldehído Ver materiales porosos	NG	Monolitos, composites, películas, polvos o microesferas (baja densidad y desarrollo poroso bimodal = mesoporos entre partículas, microporos en partículas)	Adsorbentes (de gas, purificación de agua). Soporte de catalizadores. Aislantes térmicos y acústicos. Elementos semiconductores, piezoeléctricos, dieléctricos y ferroeléctricos. Conductores (o aislantes) eléctricos. Supercondensadores de doble capa eléctrica. Desionización capacitiva.
Carbón activado Hibridación sp ³ +sp ² +sp	Ver materiales porosos				

Producto carbonoso	Grupo de materiales o proceso de fabricación		Precursor	G/NG	Forma	Aplicaciones	
Carbón pirolítico isótropo	CVD hidrocarburos (no catalítica)			NG	Láminas, recubrimientos	Recubrimiento y estabilización de materiales: catalizadores, ánodos baterías de Li, cátodos baterías primarias, partículas nucleares, etc.	
Espumas vítreas	Técnicas de insuflado de polímeros ó resinas + espumantes	Polímeros, resinas (fenol-formaldehído, urea-formaldehído) Espumantes: CO ₂ , He, HCF, pentano, HCFC	NG	Monolitos, películas,		Aislamiento térmico (industria aeroespacial) Disipación de calor en microprocesadores, parachoques y placas de absorción de impactos (automoción), convertidores catalíticos, soportes catalizadores, prótesis, electrodos para pilas, etc.	
	Técnicas de pirólisis	Breas, carbones (materia volátil del precursor actúa de agente espumante)					
Negros de carbono (hibridación sp ² + sp ³ Predominio sp ² ; existencia 'dangling bonds')	Negros de horno (90%. Combustión incompleta controlada de hidrocarburos aromáticos)			NG	Partículas ~12 -75 nm (S _g ~25-1500 m ² /g). aglomeradas en distintos tamaños.	Relleno de neumáticos (90%). Base de tintas tipográficas (periódicos). Pinturas, lacas, rellenos de grafito sintético y muchas otras (p.ej. soportes de catalizadores)	
	Negros de canal (combustión incompleta de gas natural. Proceso de canales)				Partículas de ~10 nm (S _g ~150 m ² /g)		
	Negros térmicos (pirólisis de gas natural)				Partículas de hasta ~500 nm (~25 m ² /g)		
	Negros de acetileno (pirólisis de acetileno)				Partículas de 3-130 nm (65 m ² /g)	Pilas secas. Relleno de gomas y plásticos	
	Negros de humo (combustión incompleta de combustibles aromáticos: 'lampblack')				Partículas de 100-200 nm	Pigmento negro para tintas (tinta china) y pinturas	
Hibridación sp ²							
Carbón tipo vidrio Forma alotrópica (hibridación sp ² , debate sobre presencia de estructuras tipo fullereno) (Harry, 2003)	Pirólisis de polímeros	- Resinas fenólicas termoestables fenol-formaldehído (Resol y Resitol) [catálisis alcalina], Novolak+hexamina [catálisis ácida]. - Resinas epoxi (Bisfenol A epoxi; TetraGlicidil Metileno DiAnilina [TGMDA]) - Resinas SCN y SCS - Poliimidas: Larc-TPI (termoplástica - NG) - Alcohol polifurfurílico - PAN - Celulosa (rayón, viscosa, acetato de celulosa) - PVDC (Saran) - Poli(p-fenileno) (PPP) - Alcohol polivinílico		NG	Monolitos Espumas Microesferas	Monolitos: Crisoles, botes Electrodos de baterías, pilas de combustible, etc. Biocompatibilidad Espumas: Electrodos Li-ión, aislamiento térmico; adsorción de hidrocarburos (forma activada), filtro de partículas diesel, refuerzo de composites Microesferas: soporte de catalizadores, rellenos de baja densidad, etc.	
Grafito sintético	Grafito Acheson (proceso Acheson, 1890)		Tratamiento térmico de coque + sílice (horno eléctrico, 2000-2500 °C)	-	Partículas de tamaño variado	Lubricantes, tintas, recubrimientos, electrodos, crisoles, lapiceros, escobillas de dinamos, etc.	
	Carbono grafitico resiliente (proceso Desulco)		Tratamiento térmico de coque de petróleo de bajo contenido en azufre			Aplicaciones metalúrgicas (fabricación de hierro dulce y acero)	
	Grafito alto grado ordenamiento	Grafito pirolítico laminar y columnar	Descomposición de hidrocarburos (CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₂ , C ₃ H ₆)		-	Monolitos, láminas (PGS de Matsushita), recubrimientos	Contenedores de alta temperatura. Botes y crisoles para epitaxia. Bases para CVD de semiconductores. Bocas de cohetes. Recubrimiento de partículas nucleares. Válvulas de corazón. Implantes dentales. Recubrimientos de fibras inorgánicas y ópticas. CVI de C/C (frenos, escudos térmicos, etc). Láminas de HOPG: Aislamiento eléctrico, partes de equipos HIFI.
		Grafito a partir de poliimidas (grafito monolítico)	Poliimidas planas [Kapton, Novax, PPT] (Matsushida Electric Co. Ltd.)				Películas de varias micras de grosor; monolitos
Grafito Kish		Grafito precipitado en la producción de acero		Partículas amorfas planas (copos) de cristales simples de hasta 1 cm			Se añade como carbono de baja volatilidad para reducir óxidos de hierro en el proceso ENVIRONMENT

Producto carbonoso	Grupo de materiales o proceso de fabricación		Precursor	G/NG	Forma	Aplicaciones
Grafito sintético	Grafito exfoliado o deslaminado (Inagaki)		Calentamiento abrupto de grafito intercalado: Grafito: VGCF, grafito sintético, etc. Intercalado: H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , FeCl ₃ , K-THF, Na-THF	-	Láminas flexibles (Grafoil)	Gaskets (cintas de aislamiento para uniones, como los rollos de teflón), empaquetamiento y aislamiento; térmico a alta temperatura; limpieza de manchas de petróleo; catálisis.
	Grafito monolítico	PVC			Ánodos de disco, recubrimientos de impregnación.	Ánodo de batería Li-ión en la región 2. Impregnación de C/C.
		Poliimidas planas			Películas, bloques	Ver grafito a partir de poliimidas
		Espumas gráficas (Klett, Burchell)	Brea / Mesofase (ORNL – Poco graphite). Proceso distinto del espumado por gas-blowing (bajo patente)		Espumas gráficas (las paredes de las celdas son como fibras gráficas)	Materiales con alta conductividad térmica (3-4 veces la del Cu) y una densidad 4 veces inferior a la del aluminio. Refuerzo de composites.
		Grafito isótropo a partir de materiales autosinterizables (producido por sinterización de los precursores)	Coque verde (ver coque) Mesofase coalescida o microesferas de mesofase carbonosa 'mesocarbon microbeads' (ver mesofase)	-	Piezas sinterizadas, carbonizadas y grafitizadas	Sinterización de las partículas verdes (grafito isótropo): Electrodo. Sellos mecánicos. Partes de prensas en caliente. Moldes de fundición. Pistones, electroerosión. Composites con resina: Elementos calefactores; tintas y pinturas conductoras de la electricidad. Escudos electromagnéticos. Composites cerámicos: Filtros; materiales resistentes al calor; cerámicas ligeras. Modificación superficial: Carbón superactivado. Compuestos de intercalación (Li-ión)
Grafito natural Forma alotrópica	Conos (yacimientos Ticonderoga, Gooderham, Kola)				Cristales cónicos (incorporan pentágonos)	Crisoles refractarios, aceites lubricantes, baterías, recubrimientos conductivos, escobillas eléctricas, pinturas, lapiceros, etc
	Escamas (plumbago)		Diseminado en cuarcitas y mármoles ricos en sílice	-	Placas	
	Cristalino (vena)		A partir de petróleo		Placas y agujas	
	Amorfo		A partir de carbón		Partículas granulares	
Mesofase (Fase anisótropa de brea)	Coalescencia de microesferas de mesofase carbonosa y separación de la fase isótropa.		Brea de alquitrán de hulla, Brea de petróleo, Brea de naftaleno, Antraceno, Acenaftaleno, PVC	G	Microesferas ('mesocarbon microbeads') Osaka Gas: 1-80 µm	Producción de grafito monolítico isótropo (ver grafito sintético). Producción de carbón superactivado (p.ej. M30 de Osaka Gas) (ver carbón activado). Producción fibras de grado HP (ver fibras de carbono grafitizables).
Brea	Brea de biomasa		Alquitranes de origen vegetal			Aglomerante para briquetas de finos de carbón o coque
	Brea de alquitrán de hulla		Carbón mineral (hulla)			Matriz de materiales de refuerzo granular (ver materiales compuestos C/C); matriz de composites C/C en aplicaciones alta temperatura (l. aeroespacial, aeronáutica); breas ligantes y de impregnación; precursor de mesofase, fibras de carbono y carbones porosos; frenos; material para ánodo de batería Li-ión en la región 2, electrodos en supercondensadores; refuerzo; ánodos de carbono para industria de Al, siderurgia.
	Brea de petróleo		Fraciones de refino de petróleo - aceite de decantado, alquitrán de pirólisis, gasoil de vacío-		Lápices, cilindros y partículas de tamaño variado	
	Brea sintética		Polimerización catalítica de compuestos aromáticos puros: PVC, naftaleno, antraceno, acenaftaleno. Polímeros	G	Estado líquido	
Coque	Coque de carbón mineral	Metalúrgico	Siderúrgico		Coque siderúrgico: partículas de tamaño 80-20 mm. Coque de fundición: partículas de tamaño superior a 90 mm. Finos de coque: tamaño menor de 20 mm	Siderurgia (combustible, reductor y soporte permeable en el horno alto)
			De fundición			Industria de fundición férrea y no férrea. Sector del aislamiento (lana de roca, aislamiento acústico y térmico). Industria química, azucareras, ferroaleaciones. Otros usos: fabricación de electrodos (finos de coque).
		Extracción de carbón mineral con disolventes (con y sin H ₂). El extracto es el precursor de coque (patente EEUU, 1991)		G		
		Coque de brea			Aguja	Preparación electrodos de grafito, escobillas (coque aguja).

Producto carbonoso	Grupo de materiales o proceso de fabricación		Precursor	G/NG	Forma	Aplicaciones
Coque	Coque de petróleo	Coque combustible	Crudo reducido y residuo de vacío (coque verde)	G	Aguja (Premium), partículas de distinto tamaño (harina, finas, intermedias y gruesas) Coque verde: tratado a 600°C Coque calcinado: Tratado a 1400°C	Coque combustible: Cementeras, cerámicas, centrales térmicas, aditivo Coque regular (calcinado): Fabricación ánodos de carbono para industria de aluminio*. (precocidos, Soderberg). Coque de recarburación: Ajuste contenido en carbono del acero, obtención pigmentos. Coque de aguja: Preparación electrodos de grafito, escobillas*. Coque esponja: Industria del Aluminio, producción TiO ₂ . Coque verde: Precursor de grafito isótropo**. Formación de composites con carburos metálicos (también coque calcinado)***. *(ver materiales compuestos de refuerzo granular) **(ver grafito autosinterizable) ***(ver composites de C con carburos metálicos)
		Coque regular	Corriente de residuo de vacío (coque calcinado)			
		Coque de recarburación	Alimentación muy pura: fracciones pesadas de petróleo (aceites de decantado, fuel oil de pirólisis) sin azufre			
		Coque de aguja	Fracciones de alta aromaticidad, sin azufre			
		Coque esponja	Residuos parafínicos-nafténicos del petróleo			
Fibras de carbono grafitizables	Fibras a partir de brea	Fibras de mesofase de altas prestaciones (grado HP: grafitizadas por tratamiento a T ~3000°C)	Mesofase de brea (ver mesofase)	G	Fibras sueltas cortas o continuas; fieltros tejidos y sin tejer; preformas 3D. Orientación planos grafiticos radial, concéntrico, aleatorio	Refuerzo (relleno) de materiales compuestos (o híbridos). (ver materiales compuestos de refuerzo fibrilar)
		Fibras de carbono crecidas en fase vapor (VGCF - Fibras Endo). Koyama y Endo. Producidas por Applied Sciences	CH ₄ ó benceno + H ₂ (catalizador = Fe, ferroceno, etc.) a 1100°C. CVD catalítica similar a nanofibras + etapa de engrosamiento	G	Método de catalizador fijo: Diámetro=5-7 µm Longitud=1-10 mm Método de catalizador flotante: Diámetro=0.1-1.5 µm Longitud<1 mm	Refuerzo [relleno (conductor)] de materiales compuestos. Supercondensadores y baterías. (ver composites de VGCF). Catalizadores y soportes de catalizadores: SCR, electrocatálisis. Adsorción en fase líquida y gas. Desinfección de aguas (virus, bacterias).
	Fibras poliméricas	Poliaramida (Nomex y Kevlar)	G	Fibras sueltas cortas o continuas. Filtros tejidos sin tejer	Refuerzo (relleno) de materiales compuestos (o híbridos). (ver materiales compuestos de refuerzo fibrilar) Precusores de materiales porosos (catalizadores, soportes de catalizadores, etc.) Materiales aislantes y sellantes para industria automoción, aeroespacial, energía nuclear, electrónica, química y petroquímica.	
		PPP: Poli(p-fenileno) PBO: Poli(p-fenileno benzobisoxazol) PPTA: Poli(p-fenileno tereftalamida)				
		PBT: Poli(butileno tereftalato)				
	Hibridación sp ²⁻¹					
Estructuras tipo grafino Forma alotrópica (hibridación sp+sp ²)	Grafinos 'graphynes' Grafiidinos 'graphdiynes' (Baughman, 1987)		Estructuras hipotéticas, solo sintetizadas como subestructuras orgánicas (Haley, 2007)	-	Estructuras 2D moleculares planas (láminas)	-
	[C ₆₀] _n [C _m] _{n-1} (Sabirov, 2004)				Cristales de C ₆₀ interconectados con cadenas tipo cumuleno	
Ciclo [n] carbonos (Diederich, 1989)	Anulenos perefinitados. Radialenos. Cumulenos. Complejos con metales de transición, etc.		Catálisis con Pd(0) partiendo de acetileno Intermedios en la formación de C ₆₀	-	Anillos monocíclicos de n carbonos con hibridación sp	Presentan actividad antitumoral

Producto carbonoso	Grupo de materiales o proceso de fabricación	Precursor	G/NG	Forma	Aplicaciones
Hibridación sp					
Carbinos (Escuela rusa)	Naturales: Chaoita	Colisión de meteoritos con grafito natural	-	Carbón blanco cristalino (más duro que el B ₄ C)	Semiconductores unidimensionales. Precusores de diamante a alta T y P, sin catalizador. Posibilidad de generar filamentos ultra resistentes. Material biocompatible, potencial aplicación en implantes
	Sintéticos: Poliinos (-C≡C-C≡C-)	Poliinos: Deshidropolicondensación oxidativa de acetileno Cumulenos: a) Policondensación de subóxido de carbono (O=C=C=O) con acetiluro de bis(BromoMagnesio) BrMg-C≡C-MgBr b) Deshidrohalogenación de PVDC c) Desfluorinación de PTFE [poli(tetrafluoroetileno)] d) Deshidrogenación de poliacetileno Cristales de Carbinos: a) Vaporización láser de pirografito b) Deposición por vaporización en arco eléctrico de negros de carbono		Partículas cristalinas y amorfas. Las películas se preparan mediante crecimiento cristalino. Existen dos tipos de cristales: a) Alta densidad: Carbinos α (ρ=2.68 g/cm³) y β (ρ=3.13 g/cm³) b) Carbolite: Tipo I (empaquetamiento AB) y II (empaquetamiento ABC) de baja densidad (ρ=1.46 g/cm³)	
	Sintéticos: Cumulenos (=C=C=C=)				

Clasificación de materiales carbonosos porosos

Materiales	Forma, origen, método de síntesis		Aplicaciones
Carbón activado	Polvos, granos (>0.8 mm) y 'pellets'	Origen mineral: Carbón mineral (bituminoso [Calgon], lignito [Darco], antracita, turba [Norit], etc.), coque de petróleo, brea, etc.	Proceso de activación: Física: CO ₂ , vapor de agua Química: H ₃ PO ₄ , ZnCl ₂ , NaOH, KOH, Na ₂ CO ₃ , etc.
		Origen lignocelulósico: Cáscaras de coco, de arroz, de almendras; huesos de aceituna, de melocotón; algas; serrín, madera, lignina (del procesamiento del papel), etc.	
		Otros: Negros de humo, Microesferas de mesofase carbonosa [MCMB, carbón superactivado (M30 de Osaka Gas), hasta 3000 m ² /g], carbón vítreo (microesferas) azúcar, melaza, huesos de animales, polímeros, pre-polímeros, residuos (biomasa, plásticos, etc.). (ver materiales carbonosos simples)	

Fase líquida (80%):

- Agua potable (30%)
- Aguas municipales e industriales (22%)
- Decolorante de azúcar (12%)
- Aguas subterráneas (7%)
- Minería (5%)
- Usos domésticos (5%)
- Comida y bebida (4%)
- Productos farmacéuticos (4%)
- Procesos químicos y otros (11%)

Fase gaseosa (20%):

- Purificación de aire (29%)
- Recuperación de solventes (25%)
- Automóvil (20%)
- Filtros de cigarrillos y otros (26%)

Otros:

Catálisis

Catalizadores y soportes de catalizadores en fase líquida o gas.

Electroquímicas

Baterías de Li (p.ej. MCMB)

Condensadores de doble capa eléctrica (dispositivos redondos o cilíndricos [diámetro=7-13 mm, altura=25 mm] mantenimiento [back-up] de grandes memorias de ordenadores)

Adsorción / separación

Tamiz molecular (PSA, TSA [ESA]): Separación de O₂/N₂, CO₂/N₂, CO₂/CH₄, etc.

Captura de vapores de gasolina en coches (canisters).

Almacenamiento de gases (CH₄, H₂)

Materiales	Forma, origen, método de síntesis			Aplicaciones		
Fibras de carbón activadas	Fibras, telas, fieltros (tejidos y sin tejer)	Fibras poliméricas (Nomex y sus rechazos, Kevlar, etc.).		Las mismas aplicaciones de los carbones activos más aquellas aplicaciones donde la resistencia a la difusión sea elevada. Catálisis: Reducción SCR de NO _x (con o sin metales). Adsorción catalítica de SO ₂ . Electrocátalisis Soporte catalítico (Radovic y Reinoso): Hidrogenación (de CO y CO ₂ , de alquenos y alquinos, de aromáticos, síntesis de amoniaco) Hidrogenólisis de alcanos. Hidrodesulfuración (HDS) e hidrodesnitrogenación (HDN) de fracciones de petróleo, etc.		
		Rayón (viscosa). Primeras fibras activadas por Abbot en 1962		Electroquímicas: Condensadores de doble capa eléctrica (fieltros de fibras usados en configuración tipo moneda)		
		Resina fenólica, Kynol (Kuraray)		Adsorción / separación: Adsorción de NO _x por medio de fibras dopadas con Fe. Adsorción de NH ₃ (fibras pretratadas con sales de Mg, Al, Ca, Fe, Zn). Adsorción y recuperación de VOC's. Filtros de cigarrillos. Tamiz molecular (PSA, TSA [ESA]).		
		PAN (Toho Rayon)		Almacenamiento de gases. Captura de vapores de gasolina en coches (<i>canisters</i>). Filtrado de aire en equipamientos militares. Separación de C ₆₀ y C ₇₀		
		Fibras de brea isotrópicas ('general purpose'), AD'ALL (Osaka Gas)		Otras: Absorbente de luz, Purificación de aguas (eliminación virus, bacterias)		
		Fibras de carbono crecidas en fase vapor (VGCF) (ver materiales simples)				
		Composites de fibras de carbono de baja densidad (CBCF) (ver materiales compuestos C/C; composites porosos)				
Estructuras monolíticas (Burchell, Derbyshire, Kimber, Gadkaree, Pekala, etc.)	Geles de carbono (Patente EEUU Pekala, 1989)	Morfología variada: monolitos, polvos, películas	Tipo de disolvente: acuagel (hidrogel), liogel, alcogel	Carbonización / Activación: control meso-, microporosidad de forma independiente	Las mismas aplicaciones de los carbones activos más aquellas aplicaciones donde la resistencia a la difusión sea elevada. Soporte de catalizadores. Aislante térmico, acústico. Eliminación contaminantes (biomoléculas, virus, bacterias, iones radioactivos, PCBs, VOCs, As, Boro) Almacenamiento de H ₂ Supercondensadores Electrodos y electrocatalizadores Desionización capacitiva (aguas) Electrooxidación (sistemas avanzados de depuración)	
			Tipo de secado: xerogel (subcrítico); aerogel (supercrítico); criogel (criogénico)			
	Espumas de carbono (Patente EEUU: Ford, 1960)	Morfología: monolitos, polvos, películas	Técnicas de insuflado en polímeros o resinas. Agentes espumantes: físicos (líquidos bajo punto fusión), químicos (gas formado in-situ), directos (gas inyectado a presión)		Aislamiento térmico (industria aeroespacial) Disipación de calor en microprocesadores, parachoques y placas de absorción de impactos (automoción), convertidores catalíticos, soportes catalizadores, prótesis, electrodos para pilas, etc. (ver materiales simples) Electroquímicas: Electrodos Li-ión. Adsorción / separación: Adsorción de hidrocarburos. Filtro de partículas.	
			Técnicas de pirólisis: carbones, breas (materia volátil del precursor actúa de agente espumante)			
		Monolitos, películas	Infiltración del precursor (poliimidas, carbón mineral) en espumas de poliuretano (técnicas de nanomoldeo)			
	Monolitos Cerámicos Recubiertos (Gadkaree-Corning): Monolitos tipo 'honeycomb' (p.ej. cordierita, Corning), recubiertos de resina fenólica o furánica, sacáridos, etc., carbonizados y activados.					Soportes catalizadores, inmovilización enzimas, Adsorción de gases y vapores (VOCs), etc. (ver materiales compuestos cerámico/carbón)
	Composites de baja densidad de fibras de carbono activadas, CBCF (Univ. Kentucky, ORNL)					Ver materiales compuestos C/C - Composites porosos
	Monolitos Integrales	Celulares: Un aglomerante carbonoso (resina, etc.) es mezclado con carbón activo antes de la formación (extrusión) del monolito. Curados, carbonizados y activados				Catálisis: Catalizadores y soporte de catalizadores. Adsorción: Adsorción de VOC's. Filtro de gases. Almacenamiento de gases (monolitos integrales de alta densidad)
		De alta densidad: Carbón activo (activación química) o fibras de carbono activadas aglomeradas con un ligante (ρ aparente > 0.6 g/cm ³) (Cazorla, Linares)				
	'Woodceramics' (Tokuda, Okabe, etc): Madera (u otro material leñoso) impregnada con resina fenólica, carbonizada y activada.					Catálisis, adsorción de humedad, tratamiento de aguas, etc.

Materiales		Forma, origen, método de síntesis		Aplicaciones			
Grafito exfoliado		Ver materiales simples		Gaskets (cintas de aislamiento para uniones, como los rollos de teflón), empaquetamiento y aislamiento; térmico a alta temperatura; limpieza de manchas de petróleo; catálisis			
Grafito intercalado		Con K, K-H, Cs o Rb		Ver materiales compuestos carbono/metal. Almacenamiento de gases y separación isotópica de hidrógeno			
Tamices moleculares	Mezclas precursores: brea/carbón	Membranas: Películas soportadas en soportes macroporosos (orgánicos o inorgánicos)	Adsorción				
	Pirólisis resinas catiónicas		Procesos de separación: Membranas tipo tapiz molecular: separación de gases permanentes (O ₂ /N ₂ , CO ₂ /N ₂ , CO ₂ /CH ₄ , etc) Membranas de adsorción selectiva: separación de hidrocarburos (iso-butano / n-butano, aire / hidrocarburos, H ₂ / hidrocarburos, etc) Aplicaciones biológicas				
	CVD (C ₆ H ₆ , C ₂ H ₂) sobre material poroso						
Materiales de porosidad controlada (Campo en evolución exponencial)	Reacción halogenación de carburos metálicos M _x C _y (Gogotsi)		Almacenamiento de gases (H ₂ , CH ₄) Electrodos en supercondensadores y baterías ión-Li. Soportes de electrocatalizadores Recubrimientos tribológicos				
	Microporosidad	Carbonización de un precursor de carbono, previamente infiltrado en zeolitas microporosas: Y, ZSM-5, L, β , EMC, (Kyotani, 1997)	Técnicas de nanomoldeo (endo-, exomoldeo) 'nanocasting'	Adsorción moléculas de gran tamaño (biomoléculas, antibióticos, enzima, proteínas). Soportes de catalizadores y electrocatalizadores. Inmovilización de enzimas. Sensores químicos, bioquímicos. Procesos de separación/adsorción de gases. Cápsulas y materiales encapsulados para procesos avanzados de purificación de aguas, catálisis, etc. Electrodos en supercondensadores. Membranas.			
		Precusores de carbono: C ₂ H ₂ , C ₃ H ₈ , resinas, polisacáridos, PAN, etc.					
	Mesoporosidad	Carbonización de precursor de carbono infiltrado en sílices mesoestructuradas tipo: SBA, HSM, MSU, MCM (carbonos CMK-n) (Knox, 1986; Ryoo, 1999), o xerogeles de sílice de mesoporosidad desordenada a partir de silicato de sodio (Fuertes, 2004). La adición de catalizadores metálicos (Fe, Co, Ni, Mn, etc.) durante la síntesis permite obtener a baja temperatura (<1000°C) materiales porosos de carácter grafitico (p.ej. soportes de electrocatalizadores), (Sevilla, 2006). Precusores de carbono: alcohol furfurílico, sacarosa, resina fenólica, etc.					
		Carbonización del precursor de carbono en presencia de nanopartículas esféricas de sílice (Hyeon, 1999) usadas como molde 'mesocellular foams'					
		Carbonización de nanocomposites orgánicos (Tanaka, 2005)					
		Polimerización de geles orgánicos (ver geles de carbono)					
		Activación catalítica en presencia de complejos orgánicos de tierras raras (Sm, Y, Yb, Lu).					
	Macroporosidad	Estructuras tipo ópalo invertido (Nakanishi, 2004)				Especulativas (preparación de cristales fotónicos)	
		Estructuras tipo diatomea Cai, 2006)				Especulativas. Potencial aplicación en sistemas dinámicos (cinéticas, transporte), adsorción de moléculas de gran tamaño, soportes de catalizadores	

Clasificación de materiales carbonosos compuestos

I) CARBONO/CARBONO

Producto	Componente de carbono matriz		Componente de carbono de relleno		Forma y características	Aplicaciones		
Materiales compuestos de refuerzo granular <i>(todas los aglomerantes se pueden usar con todos los rellenos)</i>	Aglomerante	Brea (ver materiales simples). También usada en la fase de densificación (impregnación). El aglomerante más común es la brea de alquitrán de hulla	Relleno (ver materiales simples)	Coque de petróleo (relleno más común)	Piezas de muy diversas formas y tamaños preparadas por:	Metales y semiconductores: Fabricación de ánodos para producción de aluminio (60%) y electrodos para producción de acero (32%). El 8% restante para el resto de aplicaciones. Crisoles y botes para fundido de metales y epitaxia (semiconductores). Moldes para extrusión de metales. Eléctricas: Escobillas eléctricas. Uniones eléctricas en trenes y tranvías. Elementos calefactores. Electrodos en pilas de combustible. Ánodos y cátodos en baterías eléctricas. Mecánicas: Lubricantes. Anillos de sellado. Bocas de cohete. Escudos térmicos. Químicas: Reactores. Intercambiadores de calor. Inyectores de vapor. Equipamiento para CVD. Nucleares: Moderadores y elementos de control (absorción de neutrones).		
				Coque de extractos de carbón (coque calcinado)	a) extrusión (grafito anisótropo), moldeo por compresión (grafito anisótropo) o compresión isostática (grafito isotropo)			
				Grafitos sintéticos reciclados	b) ciclos de carbonización y densificación (impregnación) con brea			
				Negros de carbón	c) Grafitización (en ciertos casos)			
				Grafito natural	-electrografito-			
		Espumas de carbón tipo vidrio (aislante térmico)		Los composites de espumas se preparan por impregnación con brea				
		Espumas de brea o mesofase (conductor térmico)						
Materiales compuestos de refuerzo fibrilar Composites de fibras de carbono de alta densidad (C/C)	Matriz (e impregnación no CVI)	Brea (ver materiales simples)	Refuerzo (ver mat. simples)	Fibras PAN (alta resistencia)	Refuerzo: Fieltro (rayón), Fibras cortas [chopped = 'injection molding' (<i>moldeo por inyección</i>)], Fibras continuas [1,2,3 direccionales = <i>impregnación</i> o 'filament winding' (<i>bobinado</i>)].	Frenos de aviones (aplicación mayoritaria). Piezas estructurales de alta temperatura de vehículos hipersónicos. Conos y escudos térmicos de reentrada de vehículos espaciales (con SiC contra oxidación). Pistones en motores de combustión interna. Elementos calefactores (hasta 2000°C). Conexiones de electrodos de arco eléctrico. Moldes para tratamiento de metales (Ti)		
		Resina fenólica		Fibras de mesofase de brea (alto módulo = rigidez)				
	CVI	CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₂ , C ₃ H ₆		Fibras isotropas de brea ('general purpose')				
				Fibras de rayón				
Composites porosos -Monolitos integrales (celulares y de alta densidad) -Composites de fibras de carbono de baja densidad (CBCF)	Monolitos integrales	Aglomerante	Relleno	Carbón activo	Monolitos celulares (honeycomb) y discos: preparados por extrusión, curado, carbonización y activación.	Soporte de catalizadores (SCR, electrocatálisis, etc.): Ej. Hidrogenación selectiva de cinamaldehído (Theo Vergunst) Adsorbente (canisters) Filtro de gases (máscaras antiguas)		
				Carbón activo (activación química). Fibras de carbono activadas	De alta densidad aparente (0.4-1 g/cm³): cilindros y otras 3D	Almacenamiento de gases (para CH ₄ , capacidad óptima > 150 V/V) (Linares, Cazorla)		
	CBCF	Aglomerante	Fibras	Fibras PAN	CBCF: Monolitos de baja densidad preparados vía dispersión en agua o en seco (fibras Nomex)	Aislante térmico. Absorbente de luz. Tamiz molecular (PSA, TSA [ESA]). Adsorción en fase líquida y gaseosa (almacenamiento de gases, filtrado de aire en equipamientos militares). Catalizador y soporte de catalizadores, etc.		
				Fibras de rayón				
				Fibras isotropas de brea (Carboflex)				
				Fibras de mesofase de brea				
			Resina termoestable		Fibras de aramida (Nomex y sus rechazos)			
Composites de VGCF (Applied Sciences) [tratados a 3000°C]	Preform.	Alcohol polifurfurílico		Refuerzo	VGCF catalizador fijo (ver materiales simples)	Composites de alta densidad y distinta orientación de fibras (1D, 2D, isotropa)	Catalizador fijo: Sumideros de calor en equipamiento electrónico. Componentes en contacto con plasma (fusión). Radiadores. Catalizador flotante: Frenos (composites isotropos que disipan el calor en todas las direcciones). Baterías Li-ión (alta relación superficie / volumen). Refuerzo de componentes del automóvil.	
	Matriz	Impregnación	Brea (ver materiales simples)		VGCF catalizador flotante (ver materiales simples)			
			CVI		CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₂ , C ₃ H ₆			
'Peapods'	Fullerenos encapsulados en el interior de nanotubos					Especulativas		

II) COMPUESTOS DE INTERCALACIÓN

Preparación:

a) Sin contacto ('two-bulb')

b) En contacto (Mezcla con el intercalado sólido, disuelto, fundido, en aleación o en sal fundida). Procesos térmicos, químicos o electroquímicos.

Producto	Componente de carbono		Otro componente		Forma y características	Aplicaciones		
Covalentes	Intercalante	Grafito sintético	Intercalador	F [(CF) _n], O(OH) [óxido de grafito, C ₄ O(OH)]		Teflón (PTFE). Rollos de lubricante sólido. Partículas, etc.	Lubricante sólido (teflón) Electrodos de baterías primarias (cátodo = fluoruro de grafito)	
Iónicos	Intercalante	Grafito	Intercalador	Tipo Donor	K-THF, Na-THF	Calentamiento rápido para producir deslaminación	Grafito deslaminado o exfoliado (ver materiales simples)	
					K, K-H, Cs, Rb	Adsorbentes	Almacenamiento de gases (H ₂ , hidrocarburos) y separación isotópica de hidrógeno (ver materiales porosos)	
					Li, K, K-Hg,	Catalizadores	Síntesis orgánica, polimerización de hidrocarburos	
		Grafito (región 1), brea tratada a baja temperatura (región 2), carbono vítreo (región 3)		Tipo Aceptor	Li	LiC ₆ (región 1), LiC ₂ (región 2)	Electrodos de baterías secundarias ó baterías Li-ión	
					H ₂ SO ₄ , Ni(OH) ₂ , Mn(OH) ₂			
					Grafito	H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , FeCl ₃	Calentamiento rápido para producir deslaminación	Grafito deslaminado o exfoliado (ver materiales simples)
						SbF ₅ , Br ₂ , H ₂ SO ₄ , HNO ₃	Catalizadores	Síntesis orgánica
					Materiales generalmente grafiticos	AsF ₅ , SbF ₅ , HNO ₃ , CuCl ₂ , FeCl ₃ , F ₂ , Br ₂	Materiales fibrosos	Materiales altamente conductores de la electricidad

III) CARBONO/METAL

Producto	Componente de carbono		Otro componente		Forma y características	Aplicaciones
Composites de fibras de carbono con matriz metálica	Refuerzo	Fibras gráficas (brea, VGCF, etc)	Matriz	Cu, Al (Osaka), Ni, Mg (se pueden recubrir las fibras con Ti, B, etc, para protegerlas de la difusión de metal de la matriz en el interior de la fibra)	Generalmente unidireccionales. Fabricación: a) electro-deposición b) Prensado en caliente c) Infiltración del metal fundido	Pistones y otras partes de motores de combustión interna (Osaka). Materiales con alta conductividad térmica y rigidez (Aplicaciones potenciales: dispersión de calor en sistemas nucleares, componentes de cohetes, intercambiadores de calor en vehículos supersónicos, sumideros de calor en sistemas electrónicos empaquetados [ordenadores])
Metalocarbohedrenos (Met-cars) (Castleman, 1992)	Vaporización láser de un cilindro del metal, que forma un plasma en un gas inerte pobre en metano o acetileno (1%).		Metales: Ti, V, Zr, Hf, Cr, Mo, etc.		I) Estructuras catiónicas (y neutras) con estructura de dodecaedro pentagonal (múltiples celdas conectadas) tipo $M_8C_{12}^+$	Aplicaciones especulativas

Producto	Componente de carbono	Otro componente	Forma y características	Aplicaciones
Nano-cápsulas rellenas	Fabricación por arco eléctrico o vaporización láser como los fullerenos (atmósfera He). El electrodo o blanco ('target') de grafito se fabrica con una mezcla de carbono e Yttrio o tierras raras.	Metales: Y, tierras raras	Nanopartículas YC ₂ (30-70 nm). Estructura: capas gráficas de estructura turbostrática que forman una cápsula que encierra en parte cristales de YC ₂ , y en parte vacío.	Aplicaciones especulativas
	Carbono poroso generado por métodos de endo- o exo-moldeo.	NiO, Fe _x O _y , Cr ₂ O ₃ , LiCoPO ₄ , CoFe ₂ O ₄ , etc.	Metal encapsulado en el interior de estructuras mesocelulares. Pueden presentar propiedades magnéticas para favorecer la recuperación del material.	Aplicaciones en catálisis, liberación de fármacos, inmovilización de enzimas, purificación de aguas, etc.
Metallo-fullerenos	'Endohedral fullerenes' Vaporización láser de electrodo de grafito impregnado con metales	Metales de impregnación: tierras raras, metales de transición, alcalinos (Sc, Y, La, Ce, etc.)	Clústeres con metal encapsulado en el interior del fullereno	Aplicaciones especulativas en medicina terapéutica
	'Exohedral fullerenes'	Metales de impregnación: tierras raras, metales de transición (Sc), alcalinos (Cs), y otros compuestos organometálicos	Clústeres con metal situado en el exterior (enlace)	Potencial aplicación en almacenamiento de H ₂ avalados por resultados de simulación (C ₆₀ [ScH ₂ (H ₂) ₄] ₁₂) [Zhao, 2005]
Composites de carbono con carburos metálicos	Coque calcinado (ver materiales simples)	B ₄ C, SiC, TiC, ZrC,	Mezcla de coque (~50 µm) con el carburo (1-2 µm). 'Hot-pressing' de la mezcla (30 MPa, 2100°C)	Composites resistentes a la oxidación con aire (800°C), con ácido sulfúrico y nítrico, y al ataque de metales fundidos (Al, Cu)
	Coque verde (ver materiales simples)		Molienda de coque verde y carburo a 1-5 µm. Sinterización a T~1000-2400°C y P atmosférica	Preparación de materiales anti-oxidación y anti-corrosión con grandes tamaños y formas complejas
	Preformas de fibras de carbono, grafito isótropo	Carburos de Ti, Zr, etc.	Preformas 1D, 2D, 3D	Potencial aplicación en pared primaria reactor de energía nuclear de fusión (proyecto ITER)
Grafito/metal	Recubrimiento de grafito, carbono pirolítico	Ni, Cu, SnO ₂ , Si, MgO	Láminas, recubrimientos	Baterías primarias; baterías de ión-Li de nueva generación Refractarios

IV) CARBONO/CERÁMICO

Producto	Componente de carbono	Otro componente	Forma y características	Aplicaciones
Cemento reforzado con fibras de carbono (CFRC)	Refuerzo Fibras de carbono de grado GP (PAN, brea, papel ['mats'])	Matriz Mortero de grano fino ('thin mortar plate'). Cemento Portland. Cemento de alúmina.	El refuerzo puede ser isótropo (fibras cortadas), 2D, 3D (fibras continuas), o láminas de papel de fibras. Se puede preparar en el sitio de construcción.	Cemento altamente resistente de baja densidad usado en construcción de edificios [alta estabilidad química, atenuante de ruidos, escudo electromagnético (en edificios inteligentes, para proteger el funcionamiento de ordenadores de la radiación exterior)].
Monolitos recubiertos cerámico/carbón	Precursor de carbón Sacáridos, resinas fenólicas y furánicas, etc. (impregnación, carbonización y activación)	Soporte Monolito cerámico tipo honeycomb (cordierita, corning)	Monolitos recubiertos	Soportes catalizadores, inmovilización enzimas, Adsorción de gases y vapores (VOCs), etc. (ver materiales porosos: estructuras monolíticas)
Cerámicos reforzados con fibras de carbono (CFRCer)	Refuerzo Fibras de carbono (PAN, brea), ó nanotubos de carbono	Matriz Si ₃ N ₄ , SiC, B ₄ C (los óxidos como Al ₂ O ₃ atacan la fibra y no son aplicables)	Composites preparados por CVI. Importante la compatibilidad química de matriz y fibras	Evitan la rotura catastrófica típica de los materiales cerámicos (materiales quebradizos). Aplicaciones potenciales.
Materiales carbonosos recubiertos de películas cerámicas	Materiales carbonosos para aplicaciones de alta temperatura (fibras, grafito, carbón vítreo)	Recubrimiento B ₂ O ₃ B ₂ O ₃ + SiO ₂ SiC SiC + zircona (ZrSiO ₄), SiC + mullita (3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂)	Preparación: a) CVD b) Impregnación c) 'Dip-coating'	Recubrimientos para potenciar la resistencia química (p.ej. oxidación) del material carbonoso

V) CARBONO/POLÍMERO

Producto	Componente de carbono		Otro componente		Forma y características	Aplicaciones	
Plásticos reforzados con fibras de carbono (CFRP)	Refuerzo (ver materiales simples)	Fibras PAN (alta resistencia)	Matriz	Resinas termoestables	Epoxi (Bisfenol A epoxi; TetraGlicidil Metileno DiAnilina [TGMDA])	Composites con distinta orientación de las fibras: continuas (1D, 2D, 3D), cortadas (isótropos). Temperaturas de operación: Epoxis (<150°C), BMI (205-245°C), Poliimidas (260-315°C), PBI (315-370°C)	Aeroespacial (~70%): Estructura primaria de aviones (alas, fuselaje, superficies de control, estabilizadores verticales [A310 Airbus, Boeing 777]). Cuerpos de satélites. Brazo de la lanzadera espacial. Cuerpo de paneles solares de satélites. Antenas espaciales y reflectores, etc. Material deportivo (~20%): Raquetas de tenis y bádminton, palos de golf, cañas de pescar, esquíes, partes de veleros. Automóviles: Ejes, ruedas, partes del motor. Industria: Robots, plantas químicas, instrumentación médica, cuchillas rotatorias Electricidad y calor: Disipadores electrostáticos y de calor (VGCF+polietileno) Refuerzo estructural: En láminas pueden ser usados para recubrir (y así reforzar) elementos estructurales deteriorados, como pilares de puentes o vigas.
		Fibras de mesofase de brea (alto módulo = rigidez)			Fenólica (PF) de catálisis ácida (Novolak + hexamina)		
		Fibras de poliamida (Kevlar)			Fenólica (PF) de catálisis básica (Resol)		
		Fibras PBO			Poliimidas termoestables (de adición [API = p.ej. Bismaleimidas BMI {poliimida tipo epoxi}] y de condensación [CPI])		
		Fibras de rayón			Esteres de cianato		
		Fibras isótropas de brea			Resinas termoplásticas		
			Poliimidas termoplásticas (LARC-TPI; NR-150-B2; Polietierimida; Poliimida 2080; Amida Imida)				
			Sulfuro de Polifenileno (PPS)				
			Polietileno				
			VGCF	Moléculas ordenadas			
		Xydar, Vectra (enlaces éster)					
Polibencimidazol (PBI)							
Plásticos reforzados con espumas de carbón	Refuerzo	Espumas de carbón tipo vidrio (aislante térmico)	Matriz	Mismos materiales que CFRP	Los composites de espumas se preparan por impregnación	Materiales estructurales con aplicaciones similares a los plásticos reforzados con fibras	
		Espumas de brea o mesofase (conductor térmico)					
Plásticos reforzados con nanotubos	Refuerzo	Nanotubos de carbono	Matriz	Polímeros de tipo polietileno	Láminas flexibles. Estudiados en el Trinity College (Irlanda, 2001)	Trajes espaciales de los astronautas	
Nafión / C ₆₀	Fullerenos (C ₆₀) como aditivos de membranas poliméricas de conductividad de potones tipo Nafión				Membranas	Pilas de combustible de membrana polimérica	
Polímeros / C ₆₀	Fullerenos (C ₆₀) funcionalizados con polímeros orgánicos				Estructuras flexibles y ligeras	Diseño de celdas fotovoltaicas híbridas con mayor eficiencia (grupo de investigación de Nazario Martín, 2006)	

Reseña Tesis Doctoral

Título: Desarrollo de breas de petróleo para refractarios magnesita-carbono

Doctor que la ha presentado: Victoria García Rocha

Director/es de la Tesis: Marcos José Granda Ferreira, Rosa María Menéndez López

Dirección: Instituto Nacional del Carbón (C.S.I.C), Apdo. 73, 33080-Oviedo.

E-mail: mgranda@incar.csic.es

Fecha: 27 de mayo de 2008

Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Oviedo.

Resumen:

En la memoria titulada "Desarrollo de breas de petróleo para refractarios magnesita-carbono" se llevaron a cabo distintos estudios que han conducido a evaluar la viabilidad del empleo de breas de petróleo como ligante en la preparación de materiales magnesita-carbono. Se estudiaron distintas estrategias para modificar la capacidad ligante de las breas de petróleo. Éstas consistieron en añadir pequeñas cantidades de agentes tensoactivos o derivados del refino del petróleo con objeto de modificar la mojabilidad de las breas. La preparación de materiales magnesita-carbono a escala laboratorio se ha llevado a cabo con brea de petróleo previamente modificada, la brea de petróleo original y una brea de alquitrán de hulla de referencia lo cual ha permitido la comparación de los mismos. Algunos de los resultados obtenidos más relevantes fueron la mejora de la capacidad ligante de breas de petróleo mediante la adición de agentes tensoactivos y productos derivados del refino del petróleo. Estos agentes permiten la reducción de la viscosidad y tensión superficial de las breas de petróleo. Se consigue por tanto una mejora de la mojabilidad de las mismas pues la reducción de estos parámetros evita en parte el fenómeno de oxidación superficial de las breas a bajas temperaturas. Ha sido posible la preparación de materiales magnesita-carbono aglomerados con breas de petróleo que mostraron características y propiedades similares a aquéllas de los materiales aglomerados con el ligante tradicional (brea de alquitrán de hulla).

Actividades del GEC

Fecha: Del 3 al 7 de noviembre del 2008

Actividad: Curso: "Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento de aguas"

Lugar: Universidad Internacional de Andalucía, Sede Antonio Machado de Baeza

Horas: 35 h lectivas

Del 3 al 7 de Noviembre de 2008 el Grupo Español del Carbón organizará un curso denominado "Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento de aguas". El curso tendrá lugar en la Universidad Internacional de Andalucía, Sede Antonio Machado de Baeza y estará especialmente dirigido a alumnos de 2º y 3er ciclo de las licenciaturas de química, ingeniería química, ciencias ambientales e ingeniería de materiales; empresas dedicadas al tratamiento de aguas potables y aguas residuales y otras personas o empresas interesadas en la temática.

Los principales objetivos de este curso son: situar el tema en el contexto actual de la problemática del uso, purificación y reciclado del agua; dar al alumno una visión general de las diferentes líneas de investigación que se desarrollan en España sobre nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento de aguas y crear en una concienciación sobre las posibilidades de desarrollo y la necesidad de investigación en este campo.

El curso consta de 35 h lectivas y se entregarán diplomas de aprovechamiento al final de mismo.

Para más información contactar con los organizadores del Curso Francisco Carrasco (fmarin(at)ugr.es) o J. Ángel Menéndez (angelmd(at)incar.csic.es).